UNTERSUCHUNGEN ÜBER THERMOELEMENTE.

(MITTEILUNGEN DER PHYSIKALISCHEN VERSUCHS-STATION HALLE-CRÖLLWITZ.)
(No. 15.)

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

VORGELEGT VON

OTTO KNOPP
AUS **GOSLAR** (HARZ).

HALLE A. S.
HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & CO.
1909.

Referent: Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. **Dorn.**

Meiner lieben Mutter.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548124_0057

Inhaltsübersicht.

Seite

§ I. Einleitung 7
§ II. Methode und Apparat 8
§ III. Schaltung 9
§ IV. Beispiel einer vollständig durchgeführten Beobachtungsreihe 10
§ V. Betrachtung von Thermoelementen Fe-Co (d = 0,0208 mm) mit einmal umschlungener Lötstelle 13
§ IV. Einfluss der Grösse ($w_\vartheta \pm p$) auf die Empfindlichkeit der Thermoelemente 14
§ VII. Untersuchung von Metallen und Metallegierungen 16
§ VIII. Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft der Cu-Ni und Fe-Ni-Legierungen von ihrer $^0/_0$ Zusammensetzung 18
§ IX. Abhängigkeit der thermoelektrischen Empfindlichkeit von der Drahtstärke 25
§ X. Exakte Untersuchung des Einflusses, des Gasdruckes und der Temperatur auf die Empfindlichkeit der Thermoelemente 27
§ XI. Betrachtung der Grösse ($w_\vartheta \pm p$) 28
a) bei Elementen, wo C = konst.
b) „ „ „ C = f(i).
§ XII. Elektrolytische Verzinnung 31
§ XIII. Vergleichung der von mir erreichten Empfindlichkeit mit der von Brandes angegebenen . 32
§ XIV. Vergleichung eines Thermoelementes mit einem Barretter 33
§ XV. Angabe der jetzigen Form unserer Thermoelemente 34
§ XVI. Kurze Zusammenstellung 34

Zusammenstellung der in der Arbeit verwendeten Symbole.

i_1 = der in das Thermokreuz hineingeschickte Heizstrom.
i_2 = der aus dem „ herausgenommene Strom.
G = Galvanometerkonstante
G_V = „ „ in Bezug auf Voltempfindlichkeit.
G_S = „ „ „ „ „ Stromempfindlichkeit.
$w_\vartheta \pm p$: p ist eine durch den Peltiereffekt bestimmte annähernd konstante Grösse, w_ϑ der Widerstand der Lötstelle.
e_ϑ = thermoelektrische Spannung (vergl. S. 10).
G Ø P = Galvanometer Nullpunkt.
Th Ø P = Nullpunkt des Thermoelements.
C_V = Empfindlichkeitsfaktor des Thermoelementes im Vakuum.
C_L = „ „ „ „ in Luft.
F N = Eisen-Nickellegierung.
Thermoindikator identisch mit Thermoelement.
G_{Sp} = Galvanometerkonstante des Spiegelgalvanometers.
$c \cdot \alpha$ = e_ϑ (s. S. 10).
Kr = Kruppin.
Co = Constantan (50 %).

§ I. Untersuchungen über Thermoelemente.

Das Studium schneller elektrischer Schwingungen gewinnt von Jahr zu Jahr an Bedeutung. Damit zugleich drängt sich das Bedürfnis nach Messinstrumenten höchster Empfindlichkeit in den Vordergrund, die in ihrer Angabe unabhängig von der Schwingungsfrequenz und Wellenform der Schwingung sind.

Als besonders geeignet für direkte Messungen haben sich das Thermoelement und der Barretter erwiesen.

Die Thermoelemente sind besonders durch die Arbeiten von Brandes,[1]) Voege[2]) und König[3]) vervollkommnet.

Die vorliegende Arbeit stellt sich die Aufgabe, festzustellen, auf welchem Wege der höchste Grad der Empfindlichkeit der Thermoelemente zu erzielen ist. Zu diesem Zwecke wurden systematische Untersuchungen über Metalle und Metallegierungen in Bezug auf ihre thermoelektrische Kraft angestellt. Da die Versuchsanordnungen sehr reine und einfache experimentelle Verhältnisse darbieten, so bilden die Untersuchungen zugleich einen Beitrag zur Kenntnis der Thermoelemente überhaupt.

Der zunächst wichtigste Teil eines Thermoelementes ist die Lötstelle. Sie sei in Fig. 1 angedeutet — natürlich übertrieben, um die Vorgänge klarer erkennen zu können.

Fig. 1.

Der Strom gehe in der angedeuteten Weise vom Eisen zum Konstantan. (Ich wähle diese beiden Metalle, da das Brandes'sche Thermoelement aus ihnen besteht.) Dieser Strom erwärmt die Lötstelle und diese Wärme erzeugt nun das thermoelektrische Phänomen. Um also einen möglichst grossen Nutzeffekt des Thermoelementes zu bekommen, muss ich versuchen, eine schwächende Wärmeabgabe an der Lötstelle nach Möglichkeit zu verhindern. Ist der hineingeschickte Heizstrom gleich i_1, so ist die Temperaturerhöhung der Lötstelle proportional mit i_1^2. Diese Erhöhung wird nach dem Grundgesetz der Kalorimetrie um so grösser, je kleiner die Masse der Lötstelle ist.

Mit dem Geringerwerden der Masse der Lötstelle werden zugleich andere wichtige Verluste geschwächt, einmal die Wärmeausstrahlung und Abgabe durch Leitung an die Umgebung; dann die in Fig. 1 durch Pfeile angedeuteten Nebenschlussströme innerhalb der Lötstelle. Diese Nebenschlüsse haben insofern noch grösseres Interesse, da bei den Lötungen umschlungener Drähte (Fig. 2) statt einer — wenn man so sagen darf — homogenen Lötstelle leicht mehrere einzelne Kontakte zwischen Lötzinn und den betreffenden Metallen auftreten können. Diese Nebenschlüsse komplizieren die Erscheinung. Daher habe ich es vorgezogen, eine direkte kreuzweise Lötung (Fig. 3) herzustellen, um

1) Brandes: Phys. Z. 6. Jahrg. 1905. S. 503.
2) Voege: Elektr. Techn. Z. 1906. S 467.
3) König: Elektr. Techn. Z. 1906. Heft 47. S. 1103.

dadurch bei einer praktischen Untersuchung und Vergleichung der Thermoelemente regelmässigere Lötstellen zu erzielen und reinere Verhältnisse zu bekommen.

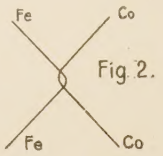


Fig. 2.

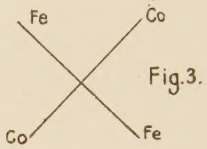


Fig. 3.

Nun hatten schon Kundt und Warburg[1]) beobachtet, dass das Wärmeleitvermögen bei Gasen bedeutend abnimmt, wenn sie unter sehr geringem Drucke stehen. Deshalb schloss Voege sein Thermokreuz ins Vakuum und erzielte dadurch eine 10 fache Empfindlichkeit, Brandes sogar die 18 fache der in Luft.

Endlich kommt noch die Wärmeableitung durch die Drähte in Frage, sie wird bei dünneren Drähten geringer werden; auch das spez. Wärmeleitungsvermögen der betreffenden Metalle und Legierungen ist von Wichtigkeit. Ferner wird diese Wärmeableitung schwächer werden, je länger wir die benutzten Drähte nehmen. Praktisch kommt man bei den zuletzt erwähnten Fällen bald an eine Grenze, denn es ist bis jetzt noch nicht gelungen, die für unsere Zwecke brauchbaren Legierungen dünner als 0,015 mm auszuziehen. Auch bei der Herstellung von Thermoelementen mit möglichst langen Drähten würden die technischen Schwierigkeiten bald ein Halt gebieten.

§ II. Methode und Apparat.

Um nun überhaupt eine systematische Untersuchung einer grossen Zahl von Vakuum-Thermoelementen ermöglichen zu können, wurde folgender Apparat konstruiert (Fig. 4).

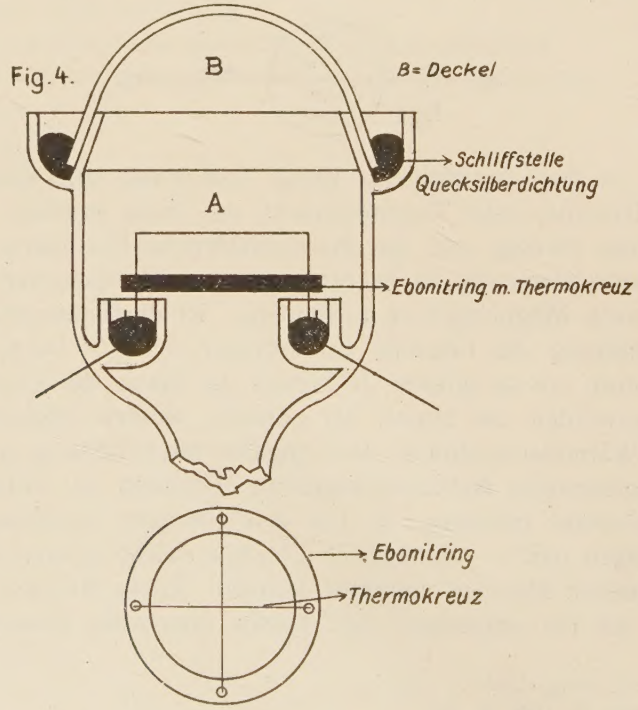


Fig. 4.

1) Kundt u. Warburg: Pogg. Ann. 156. S. 203. 1875.

An die Innenwand eines Gefässes A wurden vier Näpfchen so angeschmolzen, dass das in ihnen enthaltene Quecksilber durch eingeschmolzene Platindrähte mit äusseren Leitungen in Kontakt gebracht werden konnte. Dieses Glasgefäss konnte alsdann durch einen Deckel B mit kegelförmig geschliffenem Innenrande von der äusseren Luft abgeschlossen und so evakuiert werden. Zur Sicherheit war die Schliffstelle des Deckels mit einer Quecksilberdichtung versehen. In dieses Gefäss konnte das zu untersuchende Thermokreuz gebracht werden, das auf 4 Kupferstäbchen festgelötet war, die ihrerseits in einem schmalen Ebonitringe befestigt waren. Mittels dieses Apparates war es nun möglich, in nicht allzulanger Zeit zahlreiche Thermokreuze zu untersuchen, da es ja nur nötig war, den Ebonitring jedesmal gründlich zu reinigen und ein anderes Kreuz auf die Kupferstäbe zu löten, während die Anfertigung eines Vakuumelementes grosse Geschicklichkeit sowohl des Lötenden, als des Glasbläsers erfordert.

Die Reinigung des Ebonitringes geschah durch gründliche Abwaschung mit destilliertem Wasser und späteres Abspülen mit absolutem Alkohol und Äther. Sämtliche Lötungen wurden mit säurefreiem Lötöl ausgeführt und zwar bis jetzt zur vollkommenen Zufriedenheit. Denn wenn wirklich etwas Säure im Lötöl wäre oder bei dem Lötprozess entstehen sollte, so würde sie in der kurzen Zeit der Lötung keinesfalls das Metall angreifen können, auch könnte sie durch Abspülen oder Kochen mit destilliertem Wasser sofort beseitigt werden. Wohl aber würde sie dazu beitragen, die Lötstelle durch ev. Auflösung der Oxyde reinzuhalten und dadurch eine bessere Lötung hervorrufen.[1]) Meine bis jetzt hergestellten Thermoelemente sollen im Laboratorium des Herrn Prof. Schmidt auch späterhin noch auf ihre Haltbarkeit und Konstanz geprüft werden.

§ III. Schaltung.

Die Schaltung besteht, wie Fig. 5 zeigt, aus einer Batterie, einem nach Ruhstrat als Spannungsteiler ausgebildetem Widerstande, zwei Kommutatoren und aus je einem Zeiger- und Spiegelgalvanometer. Mittels Zeigergalvanometer wurde der hineingeschickte, mittels Spiegelgalvanometer der herausgenommene Strom gemessen. Das Thermokreuz sei schematisch durch das Kreuz A B C D dargestellt.

Bei der Stellung der Kommutatoren Ia fliesst der Heizstrom i_1 von A nach B (Fig. 6), bei Stellung

IIa von B nach A (Fig. 7), bei
Ib „ A „ C (Fig. 8), bei
IIb „ C „ A (Fig. 9).

Bei dieser Anordnung kann man bei umschlungener Lötung den Strom i_1 in jeder notwendigen Richtung hindurchsenden. Diese Änderung der Stromrichtung muss man ausführen können, denn die Empfindlichkeit der Thermoelemente wird bei Schaltung a einen anderen Wert haben wie bei Schaltung b.

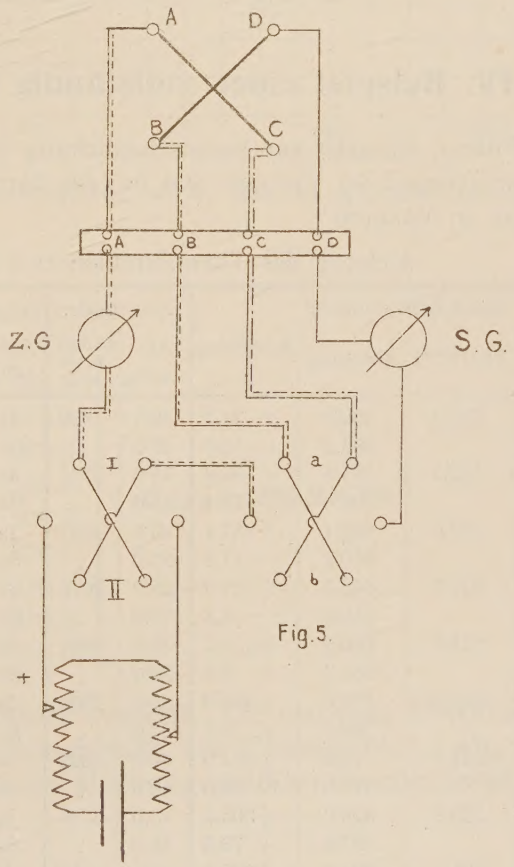


Fig. 5.

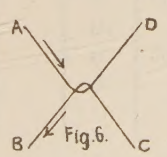


Fig. 6.

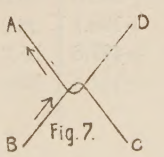


Fig. 7.

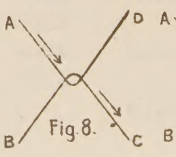


Fig. 8.

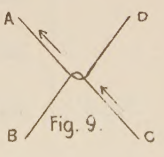


Fig. 9.

1) Siehe: Über Versuche mit Lötmitteln, Lippmann. Elektr. Techn. Z. 1907. Heft 35 u. 36.

Benutzt wurde ein Zeigergalvanometer von Siemens & Halske, das mit einem Nebenschluss versehen eine Konstante $G_S = 8{,}301 \times 10^{-5}$ besass.

Das Spiegelgalvanometer besass 200 Ohm Widerstand, die Konstante war $G_V = 2{,}24 \times 10^{-6}$ bei einem Skalenabstand von 3,8 m.

Schicke ich nun einen bestimmten Strom i durch das Thermoelement, so bekomme ich einen bestimmten Ausschlag α_1, der bedingt ist einmal durch die der Joule'schen Wärme allein entsprechende thermoelektrische Kraft e_ϑ — diese hängt hauptsächlich von der Wahl der Metalle ab — vermehrt um eine Spannung i $(w_\vartheta \pm p)$; p ist eine durch den Peltiereffekt bestimmte annähernd konstante Grösse, w_ϑ ist der Widerstand der Lötstelle. Lasse ich denselben Strom i in der entgegengesetzten Richtung hindurchfliessen, so erhalte ich einen anderen Ausschlag α_2, der bestimmt ist wieder durch e_ϑ, diesmal jedoch vermindert um die Spannung i $(w_\vartheta \pm p)$.

Wie erhalten also folgende beiden Beziehungen:

$$c \cdot \alpha_1 = e_\vartheta + i\,(w_\vartheta \pm p)$$
$$c \cdot \alpha_2 = e_\vartheta - i\,(w_\vartheta \pm p)$$

Durch Addition bezw. Subtraktion erhalten wir einmal die thermoelektrische Kraft:

$$e_\vartheta = c \cdot \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = c \cdot \alpha$$

dann

$$w_\vartheta \pm p = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2\,i} \cdot c.$$

§ IV. Beispiel einer vollständig durchgeführten Beobachtungsreihe.

Führen wir jetzt zur Veranschaulichung des Verfahrens eine vollständige Beobachtungsreihe für ein Thermoelement im Vakuum und in Luft durch:

a) im Vakuum

Aichung des Thermoindikators 5 (Fe-Co) im Vakuum mit Gleichstrom. 10. Nov. 07.

Spiegelgalvanometer				Zeigergalv.		Strom-richtung	Temp.	Kontrollbeobachtungen			Bemerkungen
*) GØP	ThØP**)	Ablesung	Ausschlag α	Ablesung	Strom i. Mikro amp.			ThØP	Ablesung	Ausschlag α	
523.0	522.2	556.5	+ 34.3	10.0	830	Ia	9.8°				Lötung: einfaches Kreuz. Dicke der Drähte d=0.0208 mm.
		507.2	— 15.0	10.0	„	IIa					
	522.2	581.4	+ 59.2	15.0	1245	Ia					
		506.8	— 15.4	15.0	„	IIa					
	522.0	609.1	+ 87.1	20.0	1661	Ia		521.8	608.4	+ 86.6	
		510.2	— 11.8	20.0	„	IIa			509.8	— 12.0	
	521.3	643.2	+121.9	25.0	2076	Ia					
		519.0	— 2.3	25.0	„	IIa					
	521.8	680.0	+158.1	30.0	2491	Ia		520.5	680.4	+159.9	
		531.2	+ 9,4	30.0	„	IIa			530.8	+ 10.3	
	521.0	725.0	+204.0	35.0	2906	Ia					
		549.1	+ 28.1	35.0	„	IIa					
	521.0	772.0	+251.0	40.0	3322	Ia		520.2	773.0	+252.8	
		571.0	+ 50.0	40.0	„	IIa			570.1	+ 49.9	
	520.8	826.0	+305.2	45.0	3737	Ia					
		597.6	+ 76.8	45.0	„	IIa					
	521.7	884.7	+363.0	50.0	4152	Ia		520.3	884.6	+364.3	
		628.0	+106.7	50.0	„	IIa			627.2	+106.9	
	521.3	948.9	+427.6	55.0	4567	Ia					
		622.7	+141.4	55.0	„	IIa					
523.0	521.8										

*) GØP = Galvanometernullpunkt.

**) ThØP = Thermoindikatornullpunkt.

Die Angabe der Temp. ist nur eine ungefähre und zwar die des Zimmers.

Tragen wir uns diese Werte für α_1 und α_2 graphisch als Funktionen der hindurchgeschickten Stromintensitäten auf (Fig. 10), so sehen wir, dass sie durch Parabeln dargestellt sind. Die Parabel für $e_\vartheta = c\alpha$ verläuft als mittlere Kurve zwischen den für α_1 und α_2 gültigen.

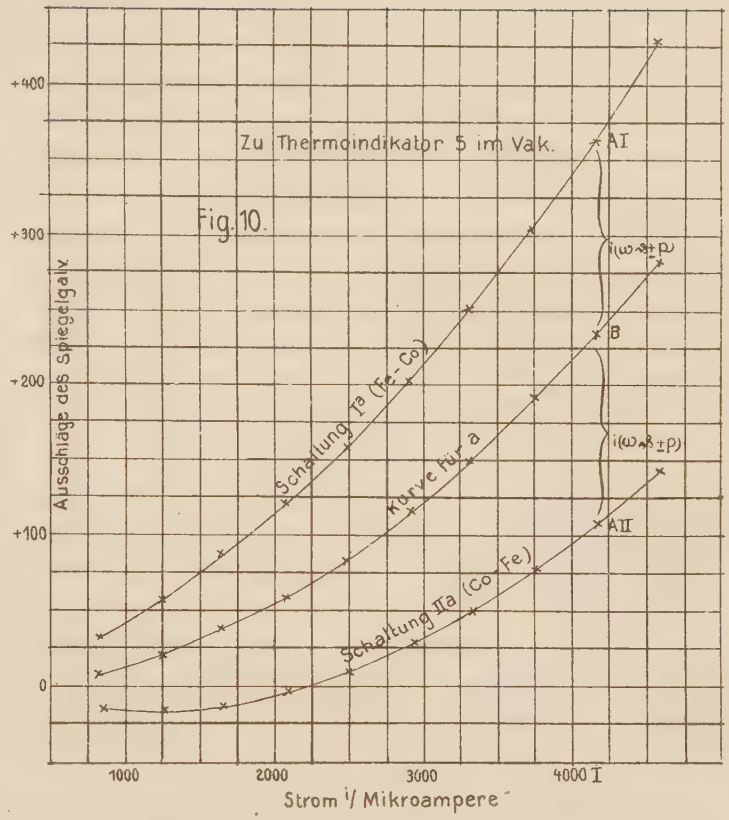
Unser $(w_\vartheta \pm p)\, i$ für eine bestimmte Stromstärke I ergibt sich als

$$A_{I}I - BI, \text{ bezw. } BI - A_{II}I.$$

Aus α lässt sich die thermoelektrische Kraft durch Multiplizieren mit den Konstanten des Spiegelgalvanometers leicht bestimmen.

Um aber einen Vergleich zwischen der Empfindlichkeit der einzelnen Thermoelementen ziehen zu können, wollen wir analog wie Brandes den Empfindlichkeitsfaktor C als Vergleichsmittel wählen und ihn definieren als

$$C = \frac{i}{\sqrt{\alpha,}}$$



d. h. wird α, unsere thermoelektrische Kraft, grösser, so wird bei gleicher Stromintensität C kleiner. Je kleiner also unser Empfindlichkeitsfaktor wird, um so grösser ist die Empfindlichkeit des Thermoelementes.

In unserem Falle würde sich C ergeben als:

α	$i_{Amp.} = 10^{-6} \times$	$C = 10^{-6} \times$
+ 9.65	830	267.2
+ 21.9	1245	266.7
+ 37.65	1661	270.7
+ 59.8	2076	268.5
+ 83.4	2491	266.2
+116.1	2906	269.7
+150.5	3322	270.8
+191.0	3737	270.4
+234.9	4152	270.8
+284.5	4567	270.8

$$C_{Mittel} = \mathbf{269.2 \times 10^{-6}}$$

Der Empfindlichkeitsfaktor ist also praktisch nahezu konstant. Die maximale Abweichung vom Mittel ist $1\,^0/_0$, die prozentuale Abweichung zwischen dem grössten und kleinsten Wert $1{,}4\,^0/_0$.

Für die Abhängigkeit der Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ von der hindurchgeschickten Stromintensität erhalten wir folgende Tabelle:

$\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$	$i_{Amp.} = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$
24.65	830	0.0665 [1])
37.3	1245	0.0671
49.45	1661	0 0668
62.1	2076	0.0669
74.4	2491	0.0669
87.95	2906	0 06778
100.5	3322	0.06778
114.7	3737	0.06873
128.2	4152	0.06916
143.1	4567	0.07017

$(w_\vartheta \pm p)$ ist also eine Funktion der Stromintensität, mit wachsender Stromstärke wächst diese Grösse.

b) Die analoge Untersuchung desselben Thermoelementes ergab in Luft folgende Beobachtungsreihe:

Aichung des Thermoelementes 5 (Fe-Co) in Luft mit Gleichstrom. 23. Okt. 07.

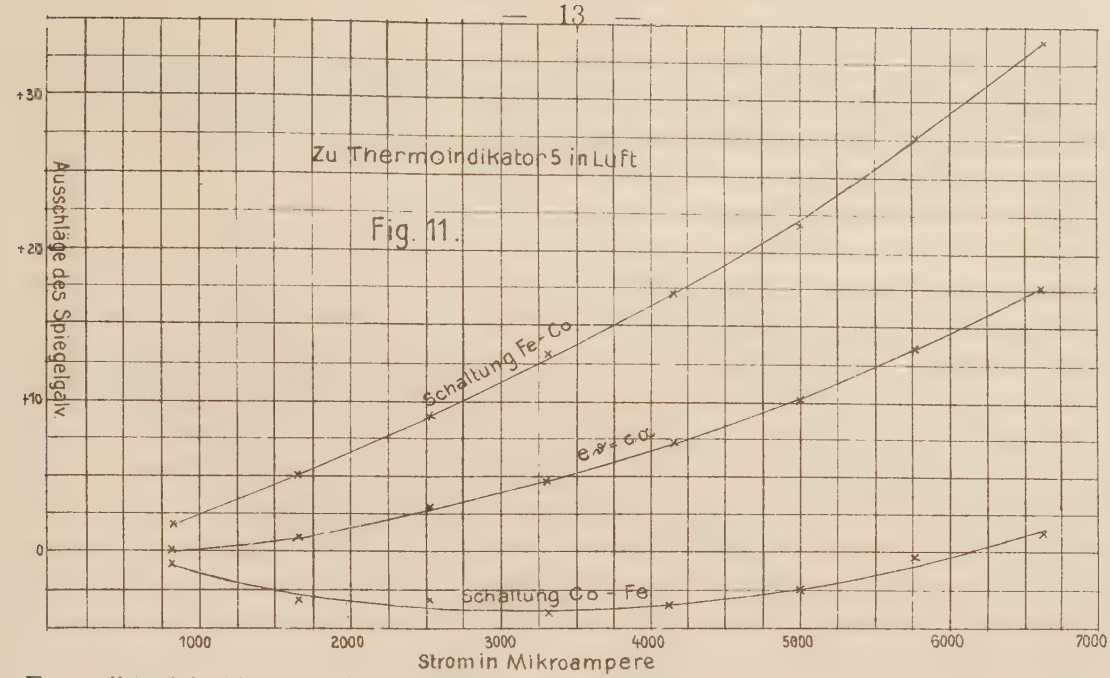
Spiegelgalvanometer				Zeigergalvanometer		Stromrichtung	Temp.	Bemerkungen
GØP	ThØP	Ablesung	Ausschlag α	Ablesung	Strom i. Mikroamp.			
634.9	639.0	652.3	+13.3	40.0	3322	Ia	12.5°	einfaches Kreuz.
		635.0	— 4.0	40.0	„	IIa		
	639.8	656.9	+17.1	50.0	4152	Ia		
		636.7	— 3.1	50.0	„	IIa		
	639.8	661.8	+22.0	60.0	4982	Ia		
		637.3	— 2.5	60.0	„	IIa		
	639.4	667.2	+27.8	70.0	5812	Ia		
		639.0	— 0.4	70.0	„	IIa		
	639.2	673.2	+34.0	80.0	6644	Ia		
		640.6	+ 1.4	80.0	„	IIa		
634.9	639.0							

Hieraus:

α	$i_{Amp.} = 10^{-6} \times$	$C = 10^{-6} \times$	
+ 4.7	3322	1532	
+ 7.0	4052	1569	
+ 9.75	4982	1595	$C_{Mittel} = \mathbf{1569 \times 10^{-6}}$.
+13.7	5812	1570	
+17.7	6644	1580	

Die maximale Abweichung für die Werte des Faktors vom Mittel beträgt 2,36 %.
$(w_\vartheta \pm p)$ ergibt sich bei der Intensität $i = 3322 \times 10^{-6}$ zu 0.00583.
Die Kurven für α_1, α_2 und $e_\vartheta = c\,\alpha$ sind auch hier wieder Parabeln. Fig. 11.

1) Berechnet nach $w_\vartheta \pm p = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2\,i} G_v$.



Es ergibt sich hier aus diesen Beobachtungen, dass ich durch Evakuieren nur eine 5.84 fache Vergrösserung der Empfindlichkeit meines Thermoelementes erhalte, während Brandes eine 18 fache, Voege eine 10 fache Steigerung der Empfindlichkeit konstatieren, dagegen steigt die Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ durch Evakuieren auf das 11 fache. Nun haben Brandes und Voege umschlungene Lötstellen hergestellt, dadurch erhalten sie sicherlich Lötstellen mit grösserer Masse. Dann ist aber sofort klar, dass beim Evakuieren verhältnismässig das Element mit der grösseren Lötmasse an Empfindlichkeit gewinnt, denn die Wärmeableitungs- und Ausstrahlungsfläche ist in dem Falle erheblich grösser. Durchschnittlich bekam ich eine 6 fache Vermehrung der Empfindlichkeit durch Evakuieren.

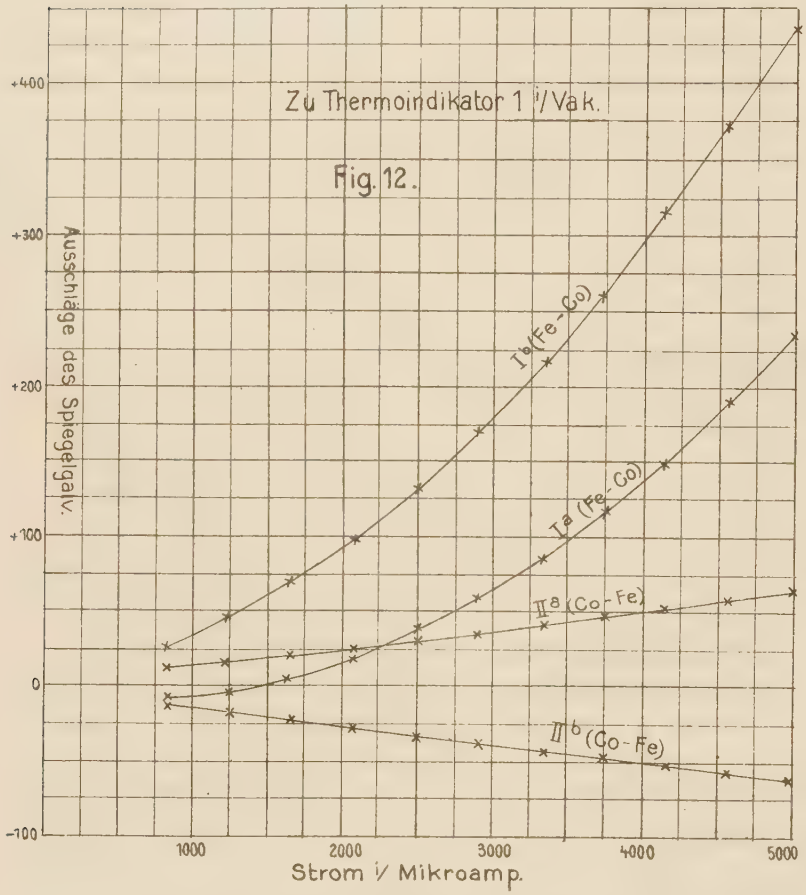
§ V. Betrachtung von Thermoelementen Fe-Co mit einmal umschlungener Lötstelle.

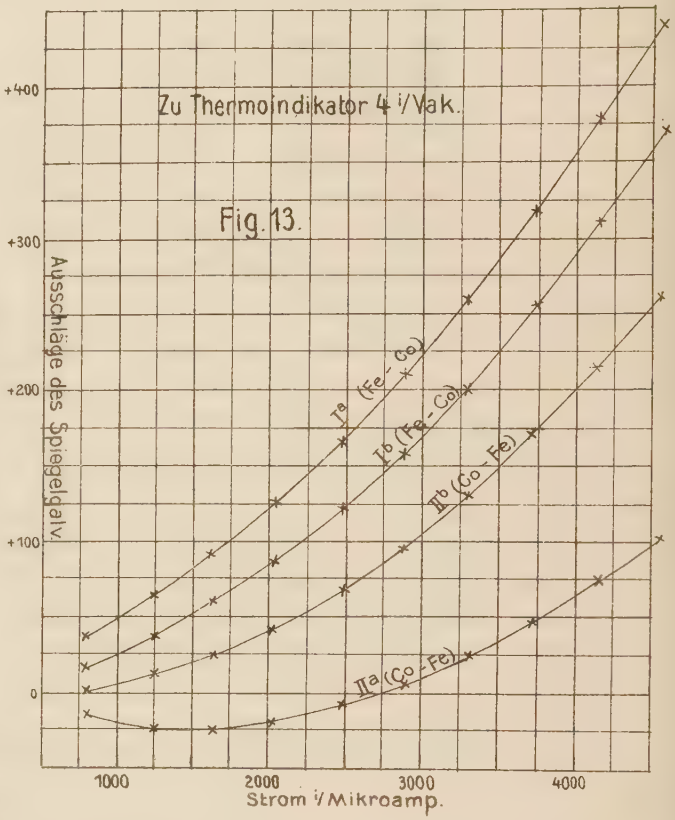
Schon in der Einleitung wies ich auf die Möglichkeit von grösseren Unregelmässigkeiten der Lötungen bei umschlungener Lötstelle hin. Nachstehend eine kurze Zusammenstellung meiner Beobachtungsresultate.

Zusammenstellung von Thermoelementen Fe-Co $d = 0{,}0208$ mm mit einfach umschlungener Lötstelle.

No. des Thermoelements	Schaltung	$C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Vak.	Bemerkungen
1	a	424.0	0.0144	$(w_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$
	b	344.7	0.0866	Schaltung a, b siehe S. 9.
4	a	271.5	0.0248	
	b	253.3	0.0864	*) Berechnung von C hat keinen Zweck, da die Ausschläge zu klein sind.
10	a	*)		
	b	274.1	0.0176	
10	a	286.4	0.0714	Lötstelle nachgelötet.
	b	270.6	0.065	
11	a	291.0	0.0707	
	b	*)		
11	a	299.0	0.0424	Lötstelle nachgelötet.
	b	311.2	0.015	

Tragen wir uns beispielsweise die Ausschläge α_1 und α_2 der Thermoelemente 1 und 4 graphisch auf (siehe Fig. 12 und 13), so sehen wir sofort ihre ausserordentliche Verschiedenheit. Während z. B. bei dem Thermoelement 1 die grössere Empfindlichkeit bei der Schaltung b erhalten wird, ist es bei Thermoindikator 4 gerade umgekehrt.



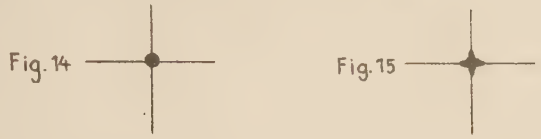


Noch auffälliger sind diese Verschiedenheiten bei den ersten Lötungen der Elemente 10 und 11. Bei dem Thermoelement 10 erhalten wir bei Schaltung b eine ziemlich gute, beim Thermoelement 11 bei Schaltung a eine ganz gute Empfindlichkeit, während in den beiden anderen Fällen die Ausschläge so klein sind, dass das Berechnen von C keinen Sinn haben würde. Erst bei nochmaliger Lötung habe ich die in der Tabelle angegebenen normalen Verhältnisse bekommen. Es ergibt sich also, dass eben wegen der Möglichkeit von grösseren Unregelmässigkeiten bei umschlungener Lötung eine systematische Untersuchung über den Einfluss der Lötstelle auf die Empfindlichkeit des Thermoelementes zwecklos ist. Immerhin ist es jedoch möglich wie z. B. bei dem Thermoelement 4 Schaltung b auch hier empfindliche Elemente zu erzielen.

§ VI. Einfluss der Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ auf die Empfindlichkeit der Thermoelemente.

Eine wichtige Aufgabe war es, den Zusammenhang zwischen $(w_\vartheta \pm p)$ und C zu untersuchen. Auch für einfach gekreuzte Drähte wird die Lötung immer noch eine recht verschiedenartige sein.

Nehmen wir zwei extreme Fälle an, so kann einmal das Lötzinn eine Kugel bilden (Fig. 14), oder das Lötzinn kann seitlich ausgeflossen sein (Fig. 15).

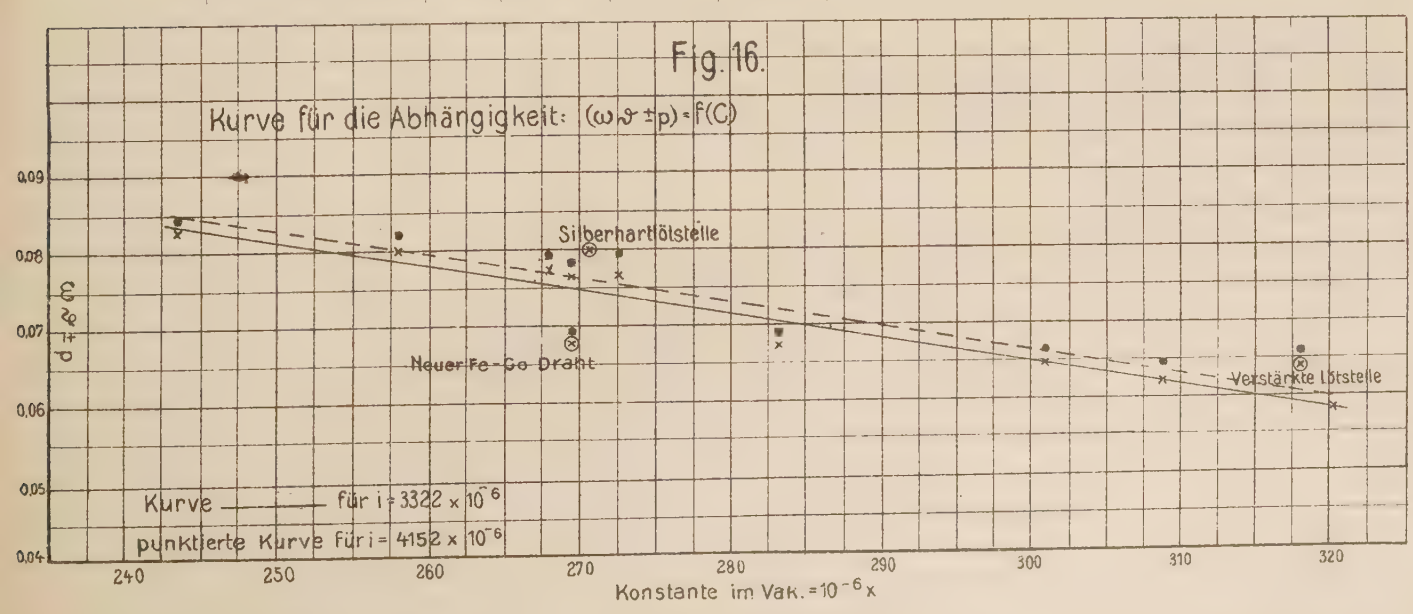


Im Falle Fig. 14 haben wir bei gleicher Masse des Lötzinns die kleinste mögliche Fläche, während im Falle Fig. 15 die Wärmeableitungsfläche eine viel grössere ist. Bedenken wir noch, dass Nebenschlüsse entstehen können und entstehen werden, so wird es nicht verwunderlich sein, dass der eine oder der andere Wert bei der Bestimmung der Funktion $C = f(w_\vartheta \pm p)$ etwas aus der Kurve herausfällt.

In der folgenden Tabelle habe ich eine Vergleichung Fe-Co-Elemente ($d = 0{,}0208$ mm) gegeben, aus der wir die gesuchte Beziehung d. h. $C = f(w_\vartheta \pm p)$ aufstellen können. Es ergab sich:

Zusammenstellung der Thermoelemente Fe-Co, $d = 0{,}0208$ mm mit einfach gekreuzter Lötstelle.

No. des Thermoel.	$C_L = 10^{-6} \times$	$C_v = 10^{-6} \times$	C_L/C_V	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Luft bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	$(w_\vartheta \pm p)$ im Vak. bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Vak. bei $i = 1661 \times 10^{-6}$	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Vak. bei $i = 4152 \times 10^{-6}$	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Vak./Luft bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	Temp.*)	Bemerkungen
6	1957	320.3	6.25	0.00384	0.057	0.0561		14.85	11 °	*) Temp. auf Vak. bezogen.
12	1754	272.8	6.44	0.00566	0.0786	0.0766	0.0796	13.9	13 °	
		308.9			0.0633	0.0632	0.0644		11 °	
8	1489	257.7	5.79	0.00759	0.0802	0.078	0 0826	10.6	9.6°	bei verschiedener Temp.
„		257.5			0.0806				11 °	
7	1695	281.9	6.01	0.00669	0.0669	0.0653	0.0679	10.55	−2.4°	
3	1753	300.7	5.84	0.00563	0.0647	0.0641	0.0662	11.5	6.6°	
5	1569	269.2	5.84	0.00583	0.0678	0.0667	0.0691	11.6	9.8°	neuer Fe-Co-Draht.
14	1490	243.5	6.12	0.00767	0.083	0.0809	0.0847	10.85	9 °	
2II		1553.0			0.00549				2 °	Silberhartlötstelle, dicker Fe-Draht.
9	1841	277.0	6.61	0.0041	0 0776	0.0759	0.0788	18.5	8 °	bei verschiedener Temp.
„		278.0			0.076				13 °	
„		274.9			0.077				9 °	bei weiterem Evak.
„		274.1			0.077				9 °	„ noch „ „
	2508	318.0	7.88	0.0037	0.064	0.0628	0.0659	17.1		verstärkte Lötstelle.
15		270.8			0.080					Silberhartlötstelle.
3III		268.0			0.077	0.0752	0.0776			



In Fig. 16 habe ich für die Stromstärke $i = 3322 \times 10^{-6}$ $(w_\vartheta \pm p)$ als Funktion des Empfindlichkeitsfaktors graphisch aufgetragen. Wir erhalten nahezu eine lineare Beziehung. Aus der Geraden fallen besonders die $(w_\vartheta \pm p)$ Werte der Silberhartlötstelle[1]) und der verstärkten Lötstelle heraus. Beim Silber erklärt sich dies am einfachsten aus den vom Lötzinn verschiedenen Eigenschaften. Bei der verstärkten Lötstelle liegt es wohl vor allem daran, dass das neu hinzugefügte Lötzinn sich nicht ordentlich mit der alten Lötung verbunden hat, sondern sozusagen aufgeklebt war. Der Widerstand war also verhältnismässig in Anbetracht des Lötzinns zu gross. Jedoch war die Wärmeabgabe infolge der grösseren Fläche stärker als bei normalen Verhältnissen, und so erhalten wir eine geringere Empfindlichkeit, als es bei dem inneren Widerstande der Lötstelle zu erwarten war. Dass das Element mit neuem Fe-Co-Draht herausfällt, kann leicht an der prozentualen Zusammensetzung des neuen Materials liegen. Ausserdem weist Walter P. White[2]) darauf hin, dass in Bezug auf thermoelektrisches Verhalten der Einfluss von physikalischen Inhomogmitäten — d. h. Schwankungen in der Härte — bei den Drähten nicht vernachlässigt werden darf. Beachtet man ferner, dass — wie später noch näher angegeben wird — auch die Temperaturverschiedenheiten der Umgebung einen nachweisbaren, wenn auch geringen Einfluss auf die in Betracht kommenden Grössen haben, so sind die vorkommenden Abweichungen unerheblich. Die zwischen C und $(w_\vartheta \pm p)$ herrschende lineare Beziehung ist derart, dass mit wachsendem $(w_\vartheta \pm p)$ die Empfindlichkeit des Thermoelementes zunimmt.

Zur Kontrolle sind noch die $(w_\vartheta \pm p)$ bei den Stromstärken $i = 4152 \times 10^{-6}$ und $i = 1661 \times 10^{-6}$ Amp. in der Zusammenstellung angegeben. In der graphischen Darstellung der Beziehung $(w_\vartheta \pm p) = f(C)$ sind die $(w_\vartheta \pm p)$ Werte bei $C = 4152 \times 10^{-6}$ durch fette Punkte angegeben. Diese Funktion verläuft oberhalb der obigen, auch hier haben wir wieder die lineare Beziehung. Über die Beziehung zwischen $(w_\vartheta \pm p)$ und der Stromstärke werden wir noch später zu berichten Gelegenheit haben.

Aus der Tabelle ersieht man weiter, dass das Evakuieren über eine gewisse Grenze keinen wesentlichen Einfluss auf die Empfindlichkeit mehr hat.[3]) Die während der Beobachtungszeit auftretenden Temperaturänderungen können ebenfalls vernachlässigt werden (über diese Beziehungen siehe § X).

§ VII. Untersuchung von Metallen und Metallegierungen.

Weiterhin wurden von mir verschiedene Metalle und Metallegierungen auf ihre thermoelektrische Kraft gegeneinander im Vakuum untersucht, um eventuell eine empfindlichere Kombination zu bekommen. Von den Legierungen nehmen die Fe-Ni-Legierungen eine merkwürdige Stellung ein, von ihnen wird im nächsten Paragraphen die Rede sein.

Geben wir zunächst wieder eine tabellarische Zusammenstellung:

---

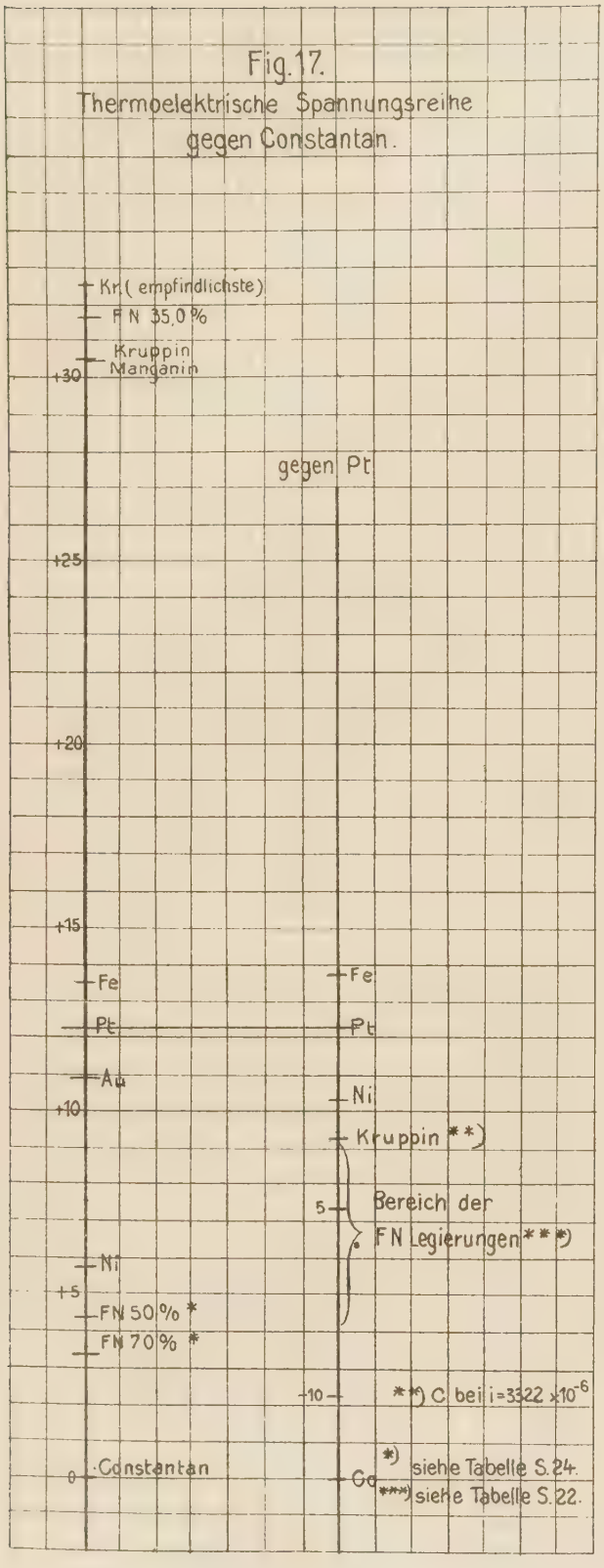
1) Die Silberhartlötung wurde mir durch gütige Vermittlung des Herrn Prof. Friese von den Siemens-Schuckert-Werken in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

2) Walter P. White: Phys. Zeitschrift 8 Jahrg. 10 S. 325 ff.

3) Siehe Element No. 9. Über nähere Beziehungen siehe § X.

Zusammenstellung verschiedener Thermoelemente.

No. des Thermoelementes und Angabe der Metalle	$C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$ i. Vak.	Mittelwert des $C_v = 10^{-6} \times$	$\frac{i^2}{C^2} = \alpha$; $i = 1000 \times 10^{-6}$	Temp.	Bemerkungen
20 Kruppin-Co	189.8	0.0457			7°	Lötung, einfaches Kreuz.
19 „	174.4	0.056			18°	$(w_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$.
20^{III} „	182.7	0.048	181.5	30.6	12°	
14^{III} „	184.3	0.048			10°	
19 „	176 5	0.054			0°	
16 Mang-Co	180.6	0.0995			3°	bei verschiedener Temp.
„	185.9	0.0995			14°	
21 „	198.8	0.0695	183.0	30.5	6°	
9^{III} „	174.1	0.085			2°	neuer Mang-Co-Draht.
5^{III} „	175 8	0.0887			3°	
14 Fe-Co	243.5	0.0846			9°	empfindlichstes Element.
15 „	270.8	0.067	275.0*)	13.25	10°	Silberhartlötstelle.
6 „	320.3	0.057			11°	unempfindlichstes Element.
1^{II} Au-Co	295.5	0.049			11°	
1^{III} „	309.0	0.0491	303.8	10.82	17°	
15^{II} „	307.0	0.0458			14°	
18 Mang-Ni	403.6	0.0548			13°	man beachte $(w_\vartheta \pm p)$. Elemente,
„	401.0	0.0198			14°	die mehrmals angegeben
„	398.0	0.0198			4°	sind, wurden jedesmal neu
11^{III} „	382.9	0.0182	399.0	6.25	12°	evakuiert.
„	381.7	0.0178			9°	
4^3 „	408.4	0.0165			6°	
5 „	398.0	0.0167			5°	
2^7 Au-Pt	1600	0.00275	1680	0,36	13°	
13 „	1700	0.00275			6°	
22 Pt-Krupp	524.1	0.008	572.3	3.06	12°	
15 „	620.4	0.0082			4°	
5^2 Fe-Pt	853 5	0.0064	819	1.25	16°	
12^7 „	784.6	0.00533			12°	
8^{II} Fe-Ni	609 3	0.026	609.3	2.69	10°	
6^2 Pt-Co	286.2	0.0438	286.2	12.25	20°	
16^4 Ni-Co	449.9	0.00786	435.3	5.29	22°	
11^7 „	420.6	0.00927			19°	
1^7 Pt-Ni	755.1	0.00691	755.1	1.77	22.5°	
3^7 Au-Ni	745.0	0.0114	745.0	1.8	23°	
3^4 Fe-Mang	546.0	0 0195	546.0	3.35	16°	
13^3 Au-Mang	2800	0.000809			18°	*) s. Tabelle S. 15.
13^4 „	2540	—	263.3	0.144	16°	**) Beim Mang-Kruppin / Pt-Kruppin ist
„	2560	0.000607			15°	$C = f(i)$. C wächst mit
20 Mang-Krupp**)	285.1	0.00718			12°	wachsendem i, das Element
3^{II} „	339.4	0 00415			10°	wird also unempfindlicher.
3 „	350.1	0 00405			12°	C ist angegeben bei
14^2 „	303.9	0.00556			6°	$C = 3322 \times 10^{-6}$.
20^{II} „	280.4	0 00749			10°	
17 Mang-Pt***)	993.3	0.0030			21°	***) Beim Mang-Pt ist $C = f(i)$.
21^7 „	951.6	0.00000			16°	Der Thermoind. wird mit
22^7 „	1000.0	0.00044			16°	wachsender Stromstärke em-
14^4 Krupp-Krupp	1807	0.00223	1792		8°	pfindlicher. C angegeben bei
„	1777	—			2°	$C = 3322 \times 10^{-6}$.



Aus der Tabelle ergibt sich, dass sowohl Kruppin wie Manganin gegen Konstantan eine erheblich grössere Empfindlichkeit in thermoelektrischer Beziehung als Fe-Co zeigen. Von beiden Legierungen verdient das Manganin den Vorzug, da es sich technisch leichter zu dünnen Draht ausziehen lässt und Manganin nicht so leicht oxydiert wie Kruppin.

Ferner können wir aus der Tabelle verschiedene Spannungsreihen[1]) aufstellen, indem wir die e_ϑ bezw α Werte — d. h. die Grössen $\frac{i^2}{C^2}$ — auftragen. Ich habe diese in Fig. 17 für Constantan und Pt gegeben. i wurde gleich 1000×10^{-6} gewählt.

Die Mang-Kr-, Pt-Kr- und Mang-Pt-Elemente nehmen eine merkwürdige Stellung ein. Wir finden hier für C keine Konstante, sondern C als abhängig von der hineingeschickten Stromstärke.

§ VIII. Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft der Cu-Ni- und Fe-Ni-Legierungen von ihrer prozentualen Zusammensetzung.

Bei allen diesen Erscheinungen finden wir, dass unsere empfindlichsten Thermoindikatoren aus Kombinationen von Legierungen bestehen. Da wird man unwillkürlich auf die Frage stossen, wie ändert sich das thermoelektrische Verhalten einer Legierung bei verschiedener Zusammensetzung ihrer Grundmetalle. Durchgeführt habe ich die Untersuchungen beim Konstantan (Cu-Ni) und einigen Eisennickellegierungen.

a) Die Kupfer-Nickellegierungen wurden gegen Manganin untersucht, es ergab sich folgende Abhängigkeit:

1) Diese Spannungsreihen sind nicht mit den gewöhnlich angegebenen identisch, da hier ganz andere Verhältnisse vorliegen.

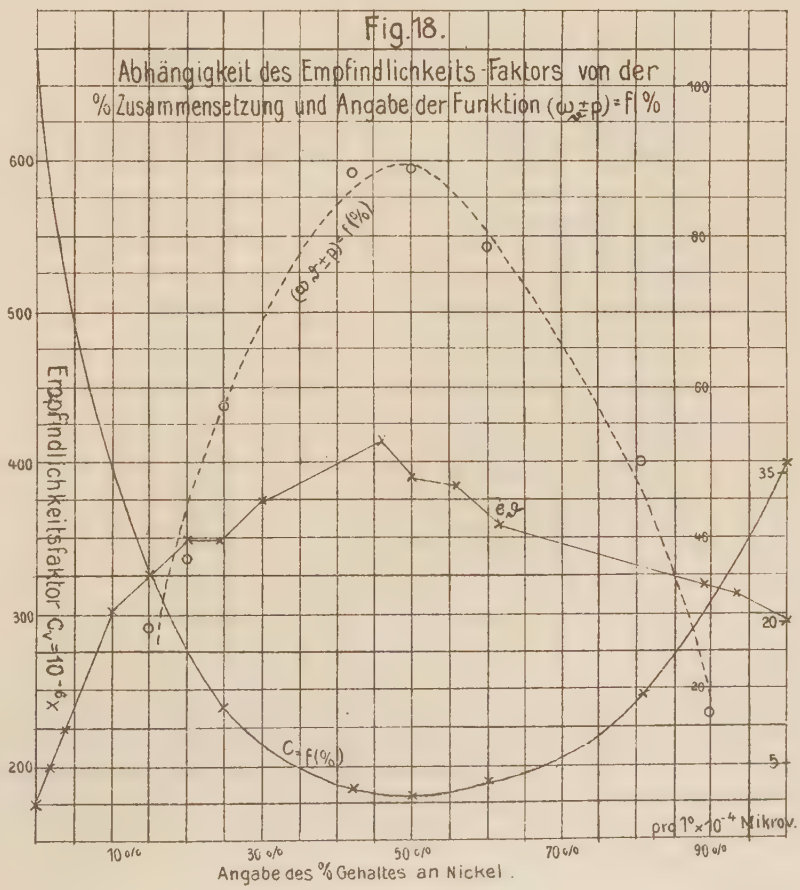
Sehr auffällig erscheint die Veränderung des $(w_\vartheta \pm p)$ bei dem Mang-Ni-Element No. 18. Das Element wurde zuerst untersucht am 4. Dez. 1907. Dabei ergab sich bei einer Intensität $i = 3322 \times 10^{-6}$ Amp. $(w_\vartheta \pm p) = 0.0548$, der Empfindlichkeitsfaktor zu 403.6. Am 8. Jan. 1908 ergab sich ungefähr derselbe Faktor, $(w_\vartheta \pm p)$ jedoch zu 0.0198. Vermutlich haben in der Lötstelle Umsetzungen irgendwelcher Art stattgefunden.

Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft der Konstantanlegierungen (Cu-Ni) von der prozentualen Zusammensetzung aus ihren Grundmetallen.

No. des Thermoinduktors nebst Angabe des %-Gehalts an Ni.	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von $C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$ i Vak.	Mittelwert von $(w_\vartheta \pm p)$	Temp.	Bemerkungen
18^5 15%	337.2	325.6	0.02698	0.0282	15°	Lötung, einfaches Kreuz.
1^6 „	314.0		0.0295		17°	d = 0.0208 mm.
3^6 20%	269.4	276.0	0.0397	0.0377	17°	
20^5 „	282 6		0.0357		16°	$(\omega_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$.
4^6 25%	237.4	233.2	0.0527	0.0582	17°	
21^5 „	229.0		0.0637		16°	
5^6 42%	191.2	185.8	0.0883	0.0883	16°	
22^5 „	180.3		—		16°	
bei 50%	183 0	183.0	0.095	0.095		siehe Tabelle S. 17.
6^8 60%	182.6	190.0	0.0787	0.0785	16°	
14^6 „	197.5		0.0783		16°	
7^6 80%	241.4	246.0	0.0517	0.0505	14°	
15^6 „	250.7		0.0492		14°	
bei 100%	399.9	399.0	0 0175	0.0175		siehe Tabelle S. 17.
bei 0%	grösser 1000, da Cu fast mit Au zusammenfällt.					

Tragen wir uns hier den Faktor C als Funktion der %-Zusammensetzung auf, so ergibt sich nebenstehende Kurve (Fig. 18). Wir sehen, wie die Empfindlichkeit schon bei geringem Nickelgehalt stark ansteigt, bis sie bei gleichen Gewichtsprozenten an Cu und Ni ein Maximum erreicht und dann wieder regelmässig bis auf die Empfindlichkeit des Manganins gegen reines Nickel fällt.

Hiermit bestätige ich die Resultate einer Untersuchung, die in der Beilage zum Kalender für Elektrotechniker zu S. 148 Tafel III angeführt ist.[1])



1) Der Autor hat sich trotz eifrigen Nachforschens des jetzigen Herausgebers des Kalenders, des Herrn Generalsekretärs Dettmar nicht mehr ermitteln lassen. Ihm sei an dieser Stelle für sein liebenswürdiges Entgegenkommen mein verbindlichster Dank ausgesprochen.

Das Drahtmaterial zu dieser Untersuchung der Konstantanlegierungen wurde von Dr. Geitners Argentanfabrik, Auerhammer i. S. in entgegenkommenster Weise zur Verfügung gestellt. Ich spreche der Firma meinen verbindlichsten Dank aus.

Das graphische Bild ist in Fig. 18 mit angegeben. Infolge meiner günstigen Versuchsanordnung ist der Verlauf meiner Kurve wesentlich glatter.

Ebenso interessant ist es, sich graphisch ($w_\vartheta \pm p$) als Funktion der %-Zusammensetzung aufzutragen (siehe ebenfalls Fig. 18). Die Kurve gilt für die Stromintensität $i = 3322 \times 10^{-6}$. Wir sehen, wie auch hier wieder das Maximum von ($w_\vartheta \pm p$) mit dem Optimum der Empfindlichkeit zusammenfällt.

b) Betrachtung der Eisennickellegierungen.

Viel interessanter sind die Eisennickellegierungen. Zur Verfügung standen mir die prozentualen Zusammensetzungen von:

25.8%	32.0%	44.0%
26.2%	35.0%	44.2%
27.9%	35.5%	50.0%
28.0%	39.4%	70.0%.

Die Zahlen geben den Gehalt des Nickels an.

Die Drahtstärke war $d = 0.0206$ mm, nur die der 35% und 50% Zusammensetzungen war $d = 0.0208$ mm. Die geringe Abweichung wurde als unwesentlich bei der Zusammenstellung nicht berücksichtigt.

Untersucht wurden die Eisennickellegierungen (Symbol FN) gegen Platin, Manganin und Eisen, und zwar wurden in den weit meisten Fällen 2 Elemente jeder Kombination untersucht, um eine genauere Lage der verschiedenen Legierungen gegeneinander zu fixieren. Leider habe ich mich vorläufig bei der Festlegung der Eisennickellegierungen gegen Pt manchmal mit nur einem Element begnügen müssen. Die Drahtstärke der Pt, Mang. bezw. Fe-Drähte betrug $d = 0.0208$ mm.

Zusammenstellung der Thermoelemente Eisen c—a Eisennickellegierungen.[1])

%-Gehalt an Ni	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von $C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$ *)	Mittel von $w_\vartheta \pm p$	Bemerkungen
25.8	286.2 281.3	283.8	0.0467 0.0457	0 0461	*) ($w_\vartheta \pm p$) bei $i = 3322 \times 10^{-6}$.
26.2	360.0 339.0	349.5	0.0571 0.0596	0.0581	
27.9	308.6 339.1	323.9	0.0237 0 0502	0.0370	
28.0	293.2 311.9	302.6	0.0491 0 0470	0.0481	
32.0	280.8 307.9	294.4	0.0944 0.0749	0 0847	
35.0	358.6 333.0	345.8	0.0218 0.0169	0.0194	
35.5	329.5 325.7	327.6	0.0197 0.0228	0.0213	
39.4	286.7 281.1	283.9	0.0429 0.0439	0.0434	

1) Das Ausziehen der Eisennickeldrähte hat infolge der ausserordentlichen Härte des Materials erhebliche Schwierigkeiten gemacht. Ich sehe mich der Firma: Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.-Bockenheim, gegenüber zu grossem Danke verpflichtet. Sie ist mir in jeder Beziehung auf das liebenswürdigste entgegengekommen. Sowohl bei dem Ausziehen der dünnsten Drähte als auch gerade bei der Herstellung der FN-Drähte hat sie meinen Wünschen bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit gern entsprochen.

Auch an dieser Stelle Herrn Prof. Guillaume: Bureau international des poids et mesures für die Herstellung der FN-Legierungen meinen besten Dank!

Zusammenstellung der Thermoelemente. Eisen c—a Eisennickellegierungen (Fortsetzung).

%-Gehalt an Ni	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von $C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$	Mittel von $w_\vartheta \pm p$	Bemerkungen
44.0	272.5 283.9	277.7	0.0551 0.0515	0.0533	
42.2	303.8 291.1	297.5	0.0808 0 0873	0.0841	
50.0	294.8 293.4	294.1	0.0695 0.0706	0 0701	
70.0	364.8 343.4	354.1	0.0560 0.0631	0.0596	
100.0	609.3	609.3	0.026	0.026	siehe Tabelle S. 17.

Zusammenstellung der Thermoelemente. Manganin c—a Eisennickellegierungen.

%-Gehalt an Ni	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von $C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	Mittel von $w_\vartheta \pm p$	Bemerkungen
0	—546	—546.0	0.0195	0.0195	siehe Tabelle S. 17.
25.8*	213 1 123.5	218.3	0 0309 0.0290	0.0300	Das negative Vorzeichen bedeutet, dass das Fe in der thermoelektr. Spannungsreihe stärker ist als Mang.
26.2	253.8 270.4	262.1	0.0463 0.0421	0.0442	
27.9*	288.5 311.8 276 4	291.2	0 0492 0 0539 0.00728	0.00586	Bei den mit * bezeichneten Thermoelementen ist der Empfindlichkeitsfaktor eine Funktion der Stromintensität. C_v ist hier bei einer Stromstärke $i = 3322 \times 10^{-6}$ angegeben, ebenso $(w_\vartheta \pm p)$. Eine nähere Betrachtung dieser Elemente folgt später (siehe § XI), bei dem Elemente Mang. 25.8 % ist diese Abhängigkeit nur sehr gering.
28.0	226.2 212.6	219.4	0.0352 0.0496	0 0424	
32.0	198.6 192.4	194.5	0.0937 0.0989	0.0963	
35.0*	287.3 261.1	275.7	0.0142 0.00618	0.0104	
35.5*	278 0 290 0	284.0	0.00826 0.00622	0.00724	
39.4	235 8 216 2	226.0	0.0268 0.0321	0.0295	
44.0	203.5 217.4	210.5	0.0486 0.0419	0.0453	
44.2	188.3 200.2	194 3	0.0972 0.0969	0.0971	
50.0	228.0 237.9	233.0	0.0537 0.0525	0.0531	
70.0	282.2 252.6	267.4	0.0552 0.0466	0.0509	
100	399.0	399.0	0.0181	0.0181	siehe Tabelle S. 17.

Zusammenstellung der Thermoelemente. Platin c—a Eisennickel.

%-Gehalt an Ni	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von $C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	Mittel von $(w_\vartheta \pm p)$	Bemerkungen
0	−853.5 −784.6	−819.1	0.0064 0.00533	0.00587	Bei den mit * oder ** bezeichneten Elementen ist $C = f(i)$.
25.8*	445.4 445.2	445.3	0.00644 0.00644	0 00644	Bei * wird C mit wachsend. i schlechter.
26 2**	434.3 451.6	443.0	0.0196 0.0225	0.0211	Bei ** wird C mit wachsend. i besser.
27.9*	591.9	591.9	0 0103	0.0103	C ist angegeben für $i = 3322 \times 10^{-6}$.
28.0	410.1 379.9	395.0	0.0143 0.0104	0.0124	
32.0	391.7 336.4	364.1	0.0361 0.0495	0.0428	
35.0	535.0	535.0	0.000405	0.000408	
35 5	566.3	566.3	0.000944	0.000944	
39.4	378.0 425.0	401.5	0.0107 0.00951	0 0979	
44.0	387.0 362.0	374 5	0.0163 0.0173	0.0168	
44.2	373.3 306.9	340.1	0 0371 0.0621	0.0496	
50.0	329.8	329.8	0.0314	0 0223	
70.0	427.3	427.3	0.0223	0.0223	
100	755.1	755.1	0.00691	0.00691	

Tragen wir uns die Empfindlichkeiten als Funktion der prozentualen Zusammensetzungen auf, so ergeben sich die in der nächsten Tafel (Fig. 19) gezeichneten Kurven. Wir sehen, dass bei den drei Funktionen die Maxima und Minima ungefähr zusammenfallen, und dass diese Funktionen einen analogen Verlauf zeigen. Ebenfalls zeigt sich, dass die minimale Änderung des Gehalts an Nickel von 0.1 % (von 27.9 % auf 28 %) eine erhebliche Änderung der thermoelektrischen Kraft bedingen kann.

In der Tabelle ist auch noch der Verlauf der $(w_\vartheta \pm p)$ Kurve für Fe-FN % angegeben. Es fällt gleichfalls wie bei den Konstantanlegierungen das Optimum des Empfindlichkeitsfaktors mit dem Maximum dieser Grösse zusammen.

Dass die Gegenwart von Nickel im Eisen selbst in geringen Mengen einen ausserordentlichen Einfluss auf die elektromotorische Kraft hat, hat schon Steinmann[1]) nachgewiesen. Auch macht er schon darauf aufmerksam, dass es bei den Legierungen von Eisen und Nickel keine einfache Beziehung gibt, die die thermoelektrische Kraft mit der chemischen Zusammensetzung verknüpft, eine Behauptung, die durch meine Untersuchungen vollauf bestätigt wird.

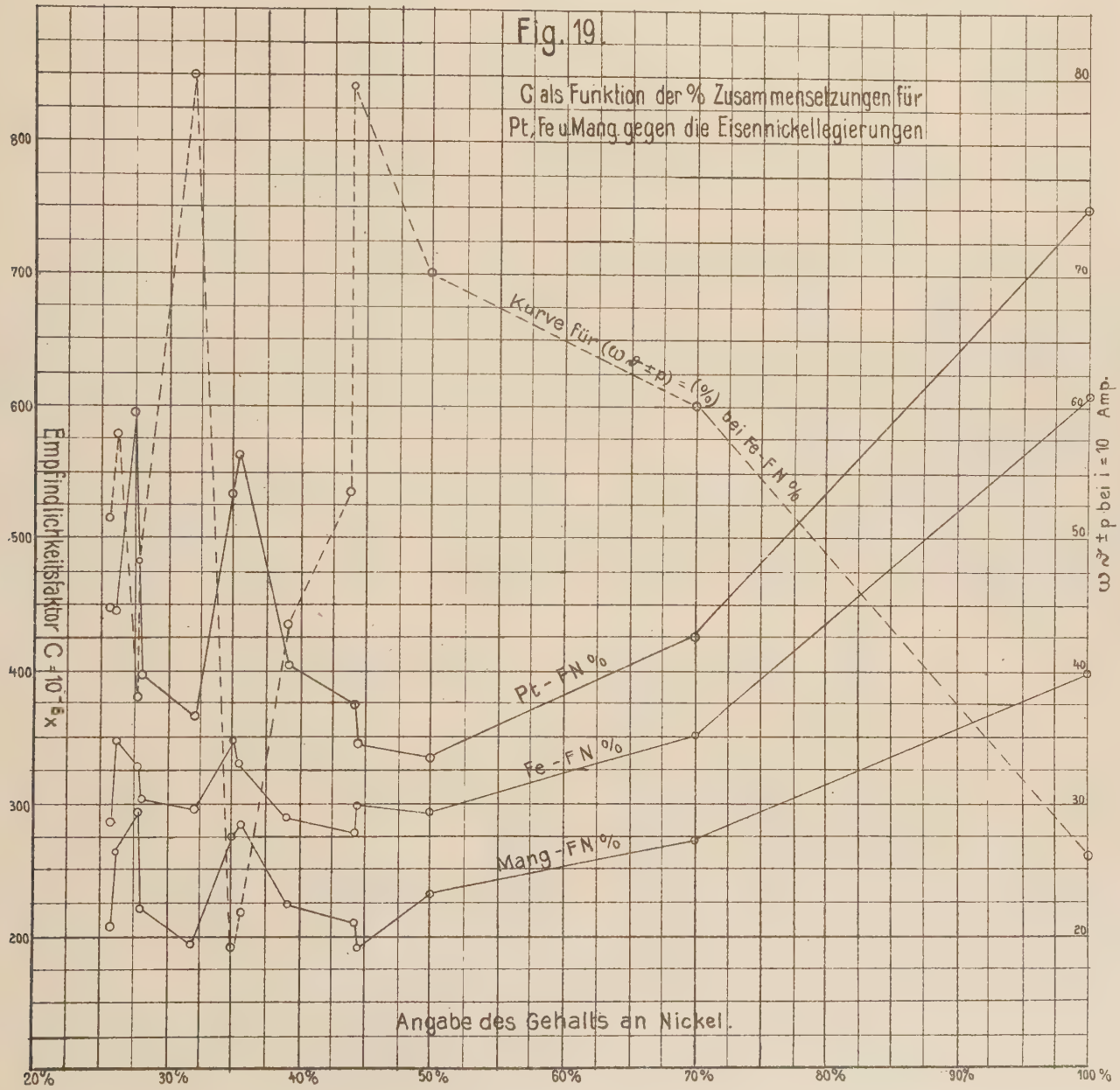
Steinmann hat verschiedene Legierungen untersucht und zieht aus seinen Resultaten den Schluss, dass die Kurven für die thermoelektrische Kraft einer Legierung von 2 Metallen entweder alle zwischen den Kurven der thermoelektrischen Kraft der Einzelmetalle liegen oder alle ausserhalb. Auch diese Behauptung trifft für meine Untersuchungen zu.

Die thermoelektrischen Kräfte der Eisennickellegierungen hat Steinmann auf chemisch reines Blei bezogen, er findet zwischen 0° und 100°:

1) Emile Steinmann, Comptes rendues 130. S. 1300/3. 1900.

Eisen mit	5 % Ni	— 341.0 Mikrov.
„	„ 22 %	— 328.0 „
„	„ 24 %	— 506.0 „
„	„ 26 %	— 266.7 „
„	„ 28 %	—2461.0 „
„	„ 30 %	— 618.2 „
„	„ 35.5%	— 742.3 „

Also auch hier liegt bei 28% und 35.5% ein Optimum der thermoelektrischen Kraft.



Um ein Vergleichen des Verhaltens der FN-Legierungen gegen die Metalle Fe, Mang und Pt besser anstellen zu können, sei noch eine kurze Gesamtübersicht gegeben:

Gesamtübersicht der FN-Legierungen gegen Fe, Mang und Pt.

%-Gehalt an Ni	$C_v = 10^{-6} \times$ gegen Fe	$C_v = 10^{-6} \times$ gegen Mang.	$C_v = 10^{-6} \times$ gegen Pt	Bemerkungen
25.8	283.6	218.3*[1])	445.3*	C als Mittel genommen.
26.2	349.5	262.1	443.0**[2])	[1]) und [2]) nur in geringem
27.9	323.9	292.2*)	591.9*	Masse f(i).
28.0	302.6	219.4	395.0	Bei den mit * oder ** be-
32.0	294.4	194.5	364.1	zeichneten Elementen ist
35.0	345.8	275.7*)	535.0*	$C = f(i)$;
35.5	327.6	284.0*)	566.3*	bei * wird C mit wachsend i
39.4	283.9	226.6	401.5	schlechter,
44.0	277.7	210.5	374.5	bei ** wird C mit wachsend i
44.2	297.5	194.3	340.1	besser.
50.0	294.1	233.0	329.8	C angegeben bei
70.0	354.1	267.4	427.3	$i = 3322 \times 10^{-6}$.
Kruppin	—	311 8*)	570.0*	% Gehalt des Kruppins leider unbekannt.

Während bei den Thermoindikatoren Fe-FN nirgend C als f(i) — wenigstens in dem von mir beobachteten Bereiche von 1000 bis 8000×10^{-6} Amp. — auftritt, finden wir diese interessanten Beziehungen bei einigen Legierungen gegen Manganin und Platin und zwar in beiden Fällen bei denselben prozentualen Zusammensetzungen. Am ausgesprochensten sind diese Funktionen bei 27.9, 35.0 und 35.5%. Vielleicht liegt das Kruppin in der Nähe irgend eines dieser Punkte. Kruppin ist auch die am stärksten positive Legierung in Bezug auf die thermoelektrische Lage der FN-Legierungen in der Spannungsreihe (s. Fig. 17).

Ausserordentlich seltsam ist das Verhalten des Kruppin gegen Konstantan. Während es in der Spannungsreihe gegen Pt zwischen Ni und Co liegt, gibt es mit Konstantan kombiniert die empfindlichste Kombination. Worin dies eigentümliche Verhalten begründet ist, kann erst die Zukunft lehren. Ich habe noch einige andere Kombinationen untersuchen können, wo ebenfalls dies sonderbare Verhalten der FN-Legierungen zu Tage tritt.

Verschiedene Kombinationen von Eisennickellegierungen.

Angabe der Metalle	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	Bemerkungen
FN 70% — Co	545.2	0.00317	$\frac{i^2}{C^2} = 3.39$.
FN 35% — FN 44.2%	201.8	0 0567	
FN 70% — FN 44.2%	459.8	0.0056	**) $C = f(i)$, mit wachsen-
**) FN 35% — Ni	520.1	0.00192	dem i bessere Empfind-
„	507.5	0.00482	lichkeit.
„	501.9	0.00480	
FN 50% — Ni	574.6	—	
**) FN 50% — Co	528.2	0.00145	$\frac{i^2}{C^2} = \alpha = 4.33$.
„	459.3	0.00132	
„	457.7	0.00186	
FN 35% — FN 50%	218.1	0.0266	
FN 35% — Co	178.2	0.0521	$\frac{i^2}{C^2} = 31.6$, s. Fig. 17.

FN 35%, das in der Nähe des Kruppins liegt, ergibt ebenfalls mit Co kombiniert eine grosse Empfindlichkeit, zeigt also auch dies Verhalten.
Gegen Ni genommen scheinen sich die FN-Legierungen gerade umgekehrt zu verhalten wie gegen Co. Vielleicht sind diese Beobachtungen der Ausgangspunkt für eingehendere Untersuchungen über diese Beziehungen; denn es ist nicht unwahrscheinlich, dass gerade diese Methode uns eine Klärung des thermoelektrischen Phänomens überhaupt liefert.

Interessant sind auch die Kombinationen der FN-Legierungen unter sich, erzielen wir doch durch die Kombination z. B. 35% mit 44.2% eine Empfindlichkeit, die besser ist als die der Fe-Co-Elemente.

§ IX. Abhängigkeit der thermoelektrischen Empfindlichkeit von der Dicke der Drähte.

Ich hatte schon erwähnt, dass auch die Ableitung der Wärme von der Lötstelle durch die Drähte nach aussenhin einen Einfluss hat. Diese hängt ab von der Art des Materials, von der Länge und der Dicke der Drähte.

Betrachten wir den letzten Faktor. Es wurden Thermoindikatoren untersucht, bei denen die Dicke 0.015 mm betrug. Wir erhielten folgende Werte:

Angabe der Metalle		$C_v = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	Bemerkungen
12^{II}	Fe-Co	131.1	0.1643	$(w_\vartheta \pm p)$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$.
13^{II}	„	129.6	0.1625	$d = 0.015$ mm.
6^{III}	„	133.8	0.1730	
18^{III}	„	133.0	0.164	
6^{II}	„	138.6	0.169	
7^{II}	Mang-Co	90.26	0.1606	
19^{II}	„	107.7	0.1313	
17^{II}	„	101.2	0.1395	
17^{III}	„	101.4	0.148	
18	„	87 3	0.172	
22	„	88.5	0.164	
4^{7}	Fe-Ni	313.0	0.0577	
7^{7}	„	303.0	0.0628	
13^{7}	„	308.0	0.0599	
19^{7}	„	301.5	0.0644	
18^{7}	Cu-Ni	814.0	0.00826	
5^{7}	„	730.0	0.0136	
14^{7}	„	803.0	0.00808	
8^{7}	„	750.0	0.00920	
9^{7}	Fe-Cu	946.7	0.0181	
6^{7}	„	1045.0	0.00870	
20^{7}	„	1050.0	0.00721	
15^{7}	„	1028.0	0.0102	

Vergleichen wir die so gefundenen Werte mit unseren früheren, so sehen wir die Empfindlichkeit doppelt so gross wie bei den Elementen aus Drähten von 0.0208 mm Dicke.

Damit kommen wir aber sofort auf eine praktisch höchst wichtige Frage, wie weit kann die Empfindlichkeit gesteigert werden mit Abnahme der Drahtdicke. Mit anderen Worten: Können wir eine graphische Beziehung gewinnen, die uns über die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Drahtstärke etwas aussagt, und was können wir aus ihr schliessen.

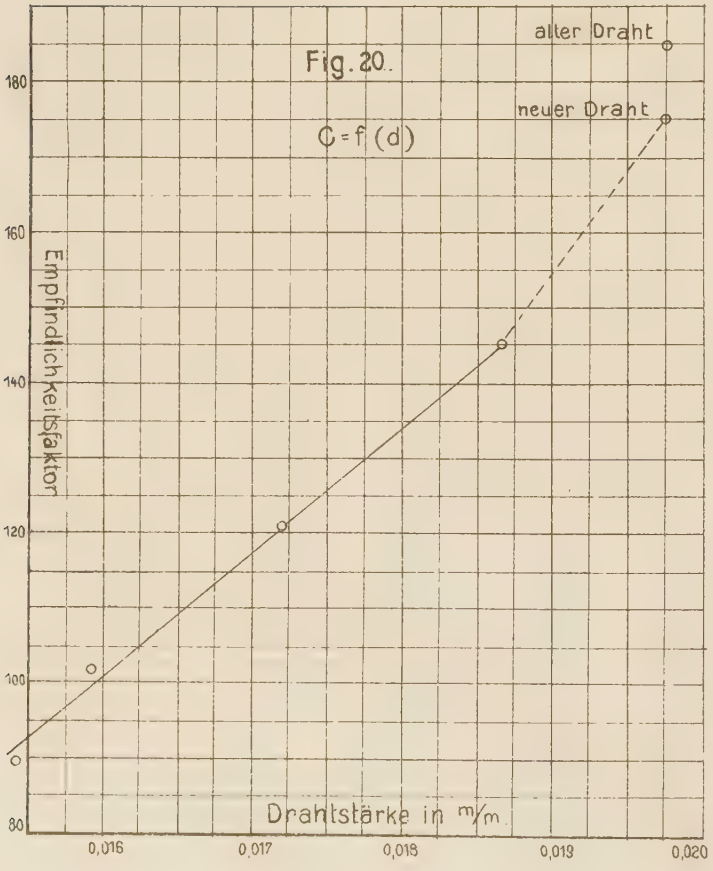
Diese Abhängigkeit der Grösse C von der Drahtstärke wurde an Mang-Co-Elementen festgestellt und zwar standen mir die Stärken:

$d = 0.0154$ mm $d = 0.0159$ mm
$d = 0.0172$ „ $d = 0.0187$ „

zur Verfügung. Diese Drahtstärken waren sämtlich aus dem gleichen Material, das ist besonders wichtig, wie schon öfters betont ist. Es ergab sich folgende Zusammenstellung:

Zusammenstellung der Thermoelemente Mang-Co bei verschiedener Drahtstärke.

Angabe der Drahtstärke	$C_v = 10^{-6} \times$	Mittel von C_v	$w_\vartheta \pm p$ bei $i = 3322 \times 10^{-6}$	Bemerkungen
0.0154 mm	86.9		0.1937	Die Angaben von C beziehen sich auf jedesmal verschiedene Indikatoren, so dass zur Festlegung des Mittel mindestens 4 verschiedene Elemente derselben Drahtstärke untersucht wurden.
„	86.2		0.1849	
„	90.4	88.8	0.1688	
„	93.0		0.1694	
„	87.5		0.1850	
0.0159 mm	103.9		0.1465	
„	102.1	104.0	0.1514	
„	102.8		0.1496	
„	107.3		0.1429	
0.0172 mm	117.1		0.1328	
„	114.4		0.1394	
„	116.1	120.4	0.1344	
„	119.9		0.1341	
„	134.5		0.1056	
0.0187 mm	148.7		0.1160	
„	149.2	145.4	0.1105	
„	151.2		0.0944	
,	138.9		0.1080	



Wir erhalten hieraus den nebenstehenden graphischen Verlauf der Kurve $C = f(d)$ und sehen, dass wir in dem Bereiche von $d = 0{,}0154$ mm — 0,0187 mm eine fast lineare Beziehung für diese Funktion finden (Fig. 20). Ob das auch für einen grösseren Bereich zutreffend ist, lässt sich aus diesen Daten noch nicht entscheiden. Der Punkt bei $d = 0.0208$ mm des neuen Drahtes würde ganz gut in diese Beziehung hineinpassen.

Bei dem älteren Drahte ist vielleicht durch Oxydation die chemische Homogenität schon geändert[1]) oder die %-Zusammensetzung war nicht genau dieselbe. Auf jeden Fall zeigt uns der Verlauf der Kurve, dass wir durch noch dünneres Ausziehen der Drähte die Empfindlichkeit noch erheblich vergrössern können.

Um auf andere Weise die Ableitung der Wärme nach aussenhin möglichst zu unterdrücken, habe ich probeweise zwischen den nach aussen führenden Kontaktdrähten und den Mang- und Co-Drähten Kohlenfäden gefügt, die auf beiden Seiten verkupfert und dann gelötet wurden. Auch

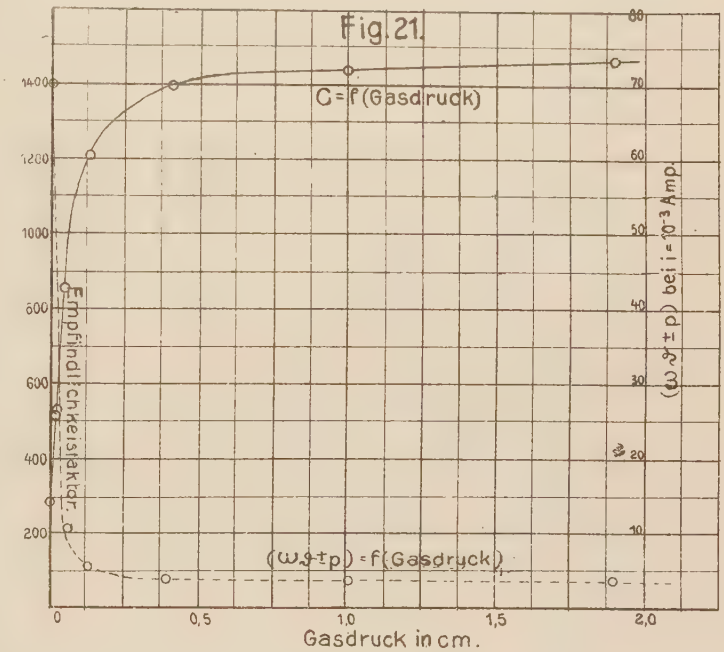
1) Walter White: Phys. Z. 8. Jahrg. No. 10 S. 325 ff.

mittels dieser Methode kann man sicherlich Fortschritte erzielen, doch sind die technischen Schwierigkeiten erheblich gross.

§ X. Exakte Untersuchung des Einflusses des Gasdruckes und der Temperatur auf die Empfindlichkeit der Thermoelemente.

a) Es wurde eine exakte Untersuchung des Einflusses des Gasdruckes auf die Empfindlichkeit eines Fe-Co-Elementes (d = 0.0208 mm) angestellt. Sie ergab folgende Beziehung:

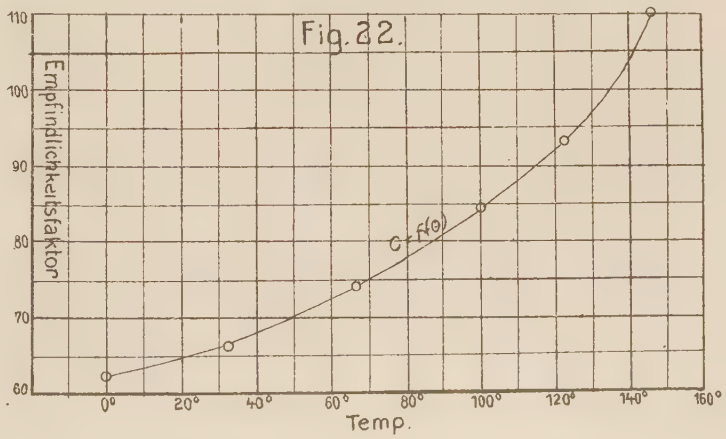
Gasdruck i. cm	Empfindlichkeitsfaktor *)	$w_\vartheta \pm p$	Bemerkungen
76.0	1484	0.00344	*) $C_v = 10^{-6} \times$
1.9	1465	0.00344	
1.0	1423	0.0037	
0.4	1384	0.00384	
0.13	1205	0.0051	†) Hier konnte der Gasdruck infolge zu geringer Höhe nicht mehr abgelesen werden.
0.06	847.8	0.0104	
... †)	535.4	0.0259	
0.000	280.4	0.0794	



Wir sehen, dass wir bis zu einem Gasdrucke von ungefähr 1 mm keine erhebliche Verbesserung der Empfindlichkeit erzielen, dass alsdann bei weiterem Evakuieren (siehe Fig. 21) die Kurve für die Funktion C = f (Gasdruck) rapide ansteigt. Auch bei diesem Element erhalten wir durch Evakuieren nur eine 5 fache Verbesserung der Empfindlichkeit. Hinweisen möchte ich auch auf den interessanten Verlauf der Kurve für die Abhängigkeit der Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ von dem Gasdruck. Auch für diese Funktion erhalten wir einen analogen asymptotischen Verlauf. Bei der grössten Empfindlichkeit haben wir auch hier das Maximum von $(w_\vartheta \pm p)$.

b) Die Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Empfindlichkeit eines Mang-Co-Elementes (d = 0.0154 mm) hatte folgende Ergebnisse:

Temp.	C_v	Bemerkungen
—10 °	60.9	Die Angaben von C_v sind nur relativ, da ein anderes Galv. und anderer Skalenabstand vorhanden war.
0 °	62.5	
33.7°	65.8	
67.8°	73.4	
100 °	84.1	
123 °	92.9	
144.5°	109.5	



§ XI. Betrachtungen über die Grösse ($w_\vartheta \pm p$).

Wir haben bisher gesehen, dass die thermoelektrische Kraft mit der Grösse ($w_\vartheta \pm p$) im engen Zusammenhang stand.

Betrachten wir zunächst einmal die Änderung, die die Grösse ($w_\vartheta \pm p$) mit wachsender Stromintensität erleidet bei Elementen, bei denen der Empfindlichkeitsfaktor eine Konstante ist. Schon S. 11 habe ich darauf hingewiesen, dass C bei diesen Elementen praktisch nahezu als Konstante anzusehen ist und zwar im Bereiche der von mir angegebenen Stromstärken von 1000×10^{-6} bis 7000×10^{-6} Ampere. Es hatte sich für folgende Elemente ergeben:

Th. Fe-Co, d = 0.0208 mm, C = 257.7×10^{-6}			Th. Fe-Co, d = 0.0208 mm, C = 281.9×10^{-6}			Th. Fe-Co, d = 0.0208 mm, C = 277.1×10^{-6}			Th. Kr-Co, d = 0.0208 mm, C = 189.8×10^{-6}		
α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$
10.6	830	0.0776	34.8	1661	0.0653	36.1	1661	0.0788	19.15	830	0.0449
42.1	1661	0.078	138.6	3322	0.067	143.5	3322	0.080	77.3	1661	0.0467
166.1	3322	0.0802	176.3	3737	0.0685	224	4152	0.0821	170.6	2491	0.0471
210 3	3737	0.0815	217.8	4152	0.0679	325.1	4982	0.0842	306.8	3322	0.0496
260.5	4152	0.0826									
		Z. 11			Z. 8			Z. 84			Z. 59

Th. Fe-Co, d = 0.0208 mm, C = 243.5×10^{-6}			Th. Mang-Co, d = 0.0208 mm, C = 198.8×10^{-6}			Th. Mang-Ni, d = 0 0208 mm, C = 401.0×10^{-6}			Th Pt-Co, d = 0,0208 mm C = 252.7×10^{-6}		
α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$	α	$i = 10^{-6} \times$	$(w_\vartheta \pm p)$
47.4	1661	0.0809	17.8	830	0.0661	+ 17.0	1661	0 0198	43.55	1661	0.0579
104.7	2491	0.0812	70.6	1661	0.0672	+ 38.35	2491	0.0200	97.9	2491	0.0579
186.0	3322	0.0833	154.8	2491	0.0673	+ 68.45	3322	0.02007	172.3	3322	0.0590
288.6	4152	0.0847	274.0	3322	0.0695	+154.7	4982	0.02077	268.1	4152	0 0611
						+277.5	6644	0.0219			
		Z. 36			Z. 64			Z. 56			Z. 62

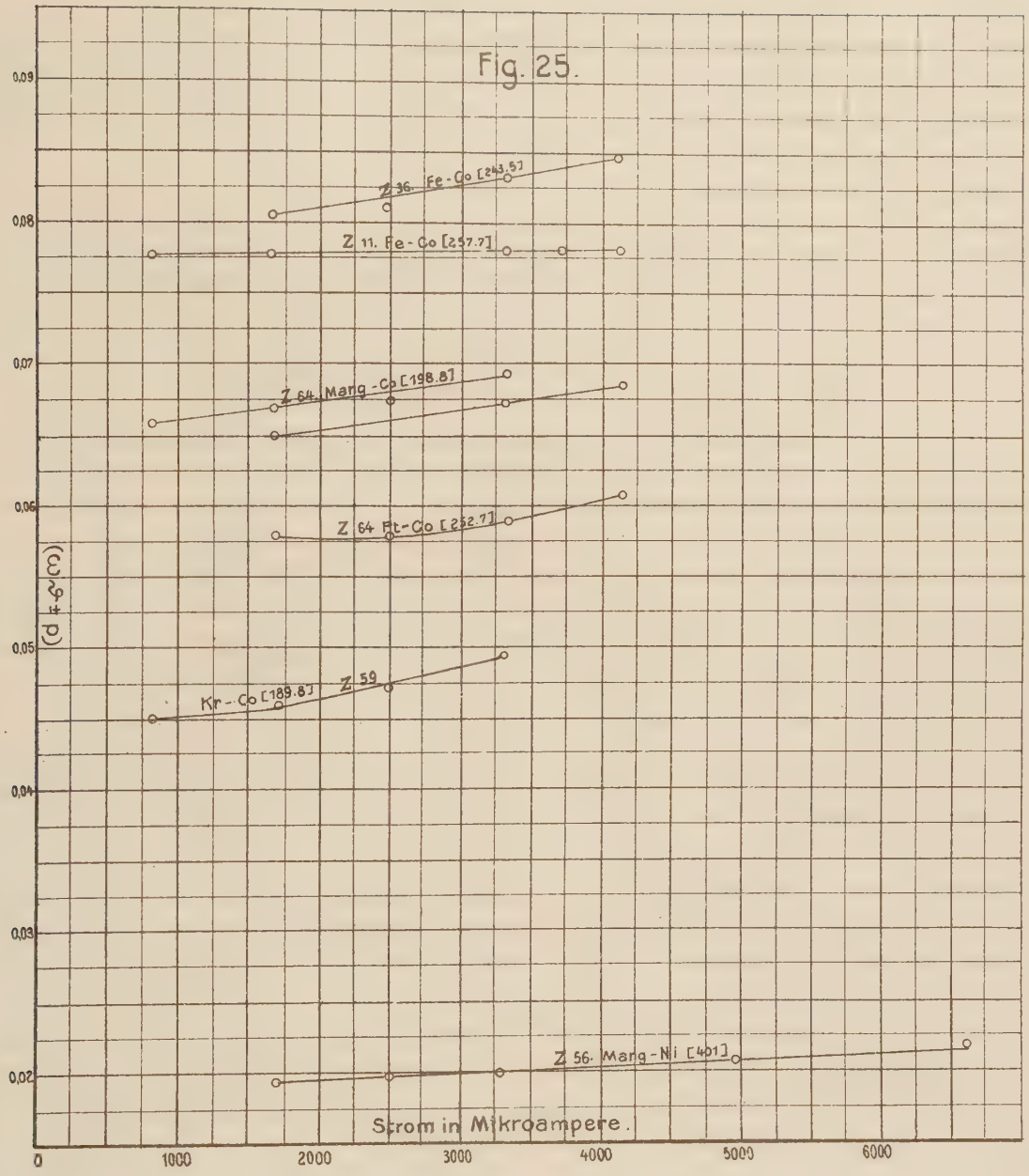
Die Ziffern bedeuten die Bezeichnung der zugehörigen Kurven in Fig. 25.

Wir sehen, dass wir mit wachsender Stromintensität ein Wachsen unserer ($w_\vartheta \pm p$) Grösse erhalten. Graphisch aufgetragen, ergeben sich nebenstehende Kurven.

Dass wir es hier nicht nur mit einem gewissen inneren Widerstand der Lötstelle zu tun haben, geht deutlicher aus den Betrachtungen der Thermoindikatoren hervor, bei denen wir für den Empfindlichkeitsfaktor eine Funktion f(i) haben.

Folgende Thermoindikatoren mögen hierzu als Beispiel dienen:

Angabe des Thermoind.	FN 35%-Ni Z. **100**		FN 50%-Ni Z. **91**		Mang-Kruppin Z. **118**		Mang-Kruppin Z. **114**		Pt-FN 35.5% Z. **239**	
bei $i = 10^{-6} \times$	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6} \times$	$w_\vartheta \pm p$
830							337.5	0.00445		
1661	510.0	0.00417	561.5	0.00117	275.4	0.00796	342.2	0.00409	556.7	0.00121
3322	501.9	0.00482	520.2	0.00145	280.4	0 00749	350.1	0 00405	566.3	0.000944
4982	488.3	0.00584	495.5	0.00259	286 2	0.00700	356 4	0 00384	582.6	0.000451
6644	472.2	0.00775	458.0	0.00492	293.2	0.00670	366.5	0.00327	607.3	—0.000428



Angabe des Thermoind.	Pt-FN 27.9% Z. **233**		Mang-FN 35.0% Z. **218**		Mang-FN 35.5% Z. **219**		Mang-FN 27.9% Z. **210**		Mang-FN 27.9% Z. **212**	
bei $i = 10^{-6}\times$	$C_v = 10^{-6}\times$	$w\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6}\times$	$w\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6}\times$	$w\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6}\times$	$w\vartheta \pm p$	$C_v = 10^{-6}\times$	$w\vartheta \pm p$
1661	581.7	0.0105	256.1	0.00843	268.8	0.00947	276.4	0.00647	267.8	0.00910
3322	591.9	0.0103	264.1	0.00668	278.0	0 00826	288.5	0.00492	276 3	0.00728
4982	608.4	0 0101	276.6	0.00456	290.2	0.00607	301.2	0 00292	282.3	0.00522
6644	635.6	0.0100					319.1	0.000826		

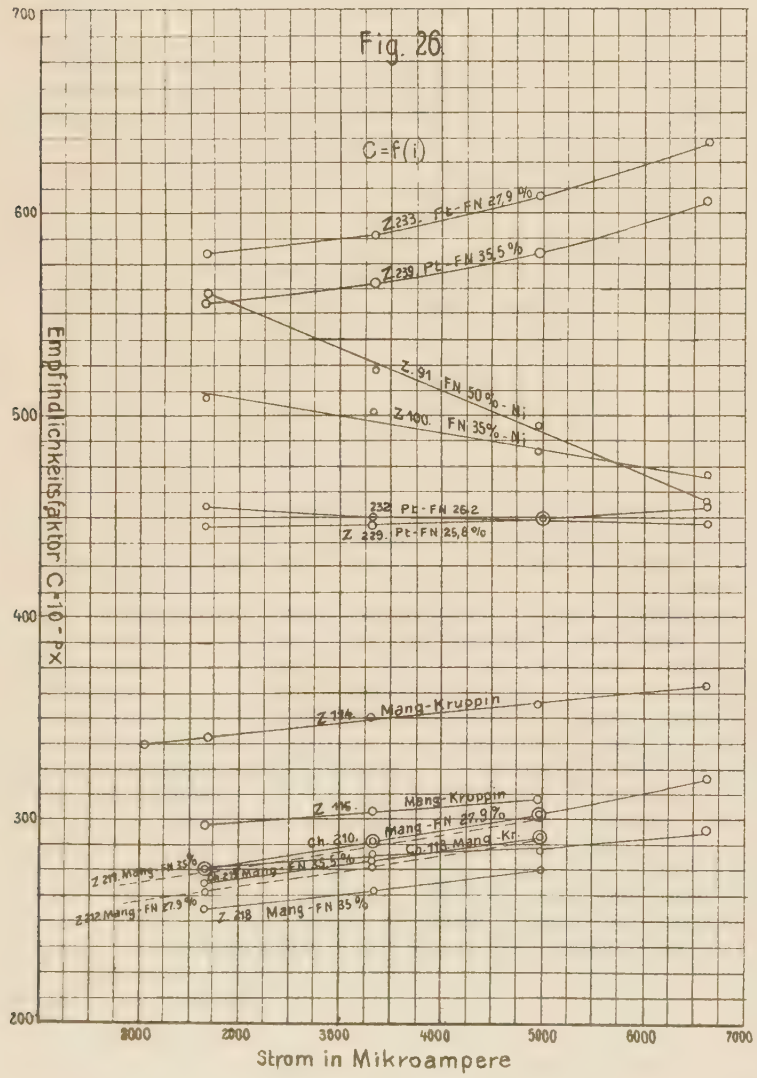
Angabe des Thermoind. bei i=10⁻⁶×	Mang-FN 35% Z. 217 C_v=10⁻⁶×	$w_\vartheta \pm p$	Pt-FN 25.8% Z. 229 C_v=10⁻⁶×	$w_\vartheta \pm p$	Pt-FN 26.2% Z. 233 C_v=10⁻⁶×	$w_\vartheta + p$
1661	275.8	0.0160	443.1	0.00897	453.6	0.0225
3322	287.1	0.0142	445.4	0.00836	451.6	0.0225
4982	300 4	0.0128	449.3	0.00733	449.3	0.0230
6644			454.5	0.00595	445.8	0.0234

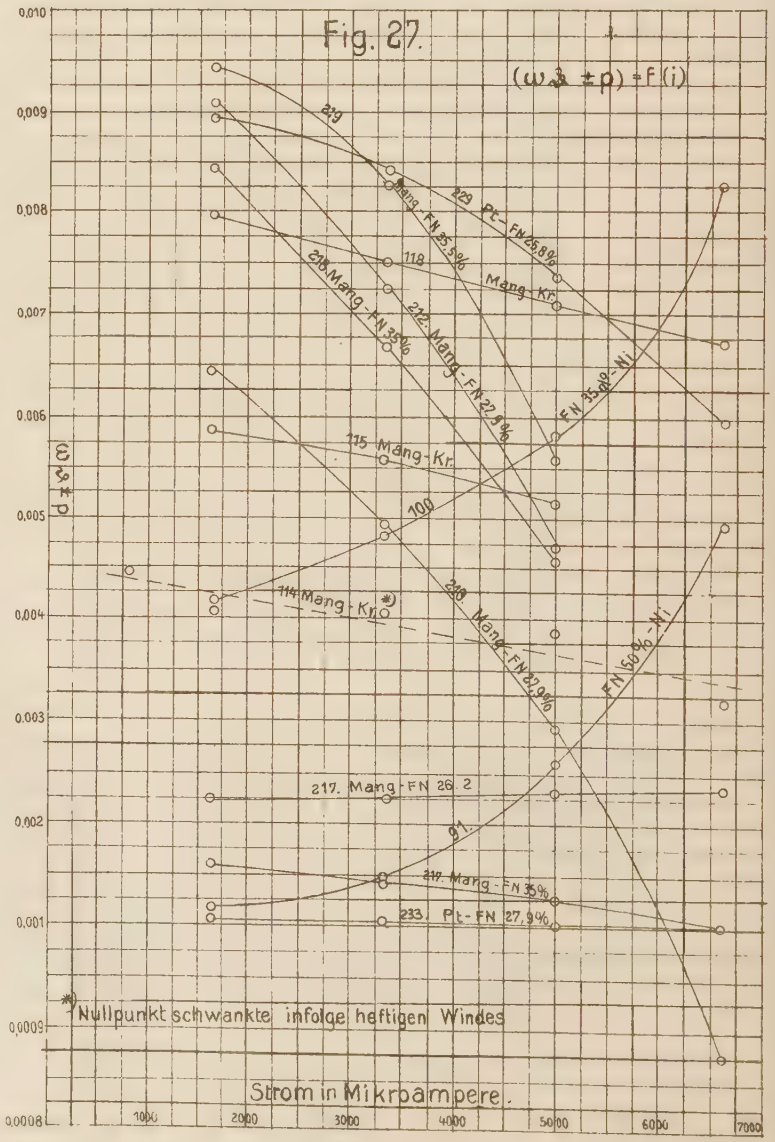
Die fetten Zahlen bedeuten die zu den Thermoindikatoren gehörigen Kurven.

Angabe des Thermoind. bei i=10⁻⁶×	Mang-Kr. Z. 115 C_v=10⁻⁶×	$w_\vartheta \pm p$
1661	297.0	0.00587
3322	303 9	0.00556
4982	309.2	0.00526

In den beiden folgenden Tabellen sind diese Beziehungen graphisch aufgetragen, in Fig. 26 die Empfindlichkeitsfaktoren in ihrer Abhängigkeit von der Stromstärke, in Fig. 27 die Grössen $(w_\vartheta \pm p)$ als f(i).

Wir sehen, dass wir bei den Z. 91 und 100 an starkes Fallen der Kurve $C = f(i)$ haben. Der Empfindlichkeitsfaktor wird in diesen Fällen erheblich besser. Wie ändert sich hier nun $(w_\vartheta \pm p)$? Diese Grösse wächst ebenfalls rapid mit wachsender Stromintensität. In § 6 haben wir schon darauf hingewiesen, dass C eine Funktion der Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ ist. Hier ist eben das Empfindlicherwerden des Thermoelementes aus dem schnellen Ansteigen des $(w_\vartheta + p)$ mit wachsendem i zu erklären.





Bei den Thermoindikatoren, bei denen wir mit wachsendem i einen schlechteren Empfindlichkeitsfaktor bekommen, sehen wir, dass auch unser ($w_\vartheta \pm p$) abnimmt.

Daraus geht aber unzweifelhaft hervor, dass wir es keineswegs mit einem inneren Widerstand der Lötstelle allein zu tun haben, sondern dass dieser Widerstand noch eng verbunden ist mit dem Peltiereffekt, denn eine andere Grösse kann hier ja nicht in Frage kommen. Ich habe deshalb auch von vornherein diese Grösse als die Summe ($w_\vartheta \pm p$) bezeichnet.

Das Schlechter- bezw. Besserwerden des Empfindlichkeitsfaktors mit wachsender Stromintensität beruht dann in der Änderung des Peltiereffektes, der ebensowohl mit C als auch mit w_ϑ eng verknüpft ist.

Hiermit ist auch das negative Vorzeichen der Grösse ($w_\vartheta \pm p$) des Pt-FN 35,5%-Elementes. Z. 239 erklärt, es überwiegt in der Summe ($w_\vartheta \pm p$) in diesem Falle das negativ gewordene p.

Ein weiteres Beispiel hierfür gibt uns folgendes Element:

Aichung des Thermoindikators 14^8 Pt-FN 35%, d = 0.0208 mm mit Gleichstrom im Vak.

30. Juli 1908.

Spiegelgalvanometer				Zeigergalvanometer		Strom-richtung	Temp.	Bemerkungen			
G Ø P	Th Ø P	Ablesung	Ausschlag α	Ablesung	Strom i. Mikro-ampere						
446.8	477.1	457.0	+ 10.8	20.0	1661	Ia	25°				
		456 5	+ 9.4	„	„	IIa					
	446.8	485.9	+ 39.1	40.0	3322	Ia		α	$i = 10^{-6} \times$	$C_v = 10^{-6} \times$	
		484.8	+ 38.0	„	„	IIa		+ 10.1	1661	522.5	C=f(i)
	446.8	528 2	+ 81.4	60.0	4982	Ia		+ 38.55	3322	535.0	
		529.0	+ 82.2	„	„	IIa		+ 81.8	4982	550.8	
	447.0	577.0	+130.0	80.0	6644	Ia		+132.6	6644	577.1	
		582.2	+135.2	„	„	IIa					
446.8	447.0										

bei $i = 1661 \times 10^{-6}$	$\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} = +0.7$	$w_\vartheta \pm p = 0.000809$
„ $= 3322 \times 10^{-6}$	„ $= +0.55$	$= 0.000405$
„ $= 4982 \times 10^{-6}$	„ $= -0.4$	$= -0.000180$
„ $= 6644 \times 10^{-6}$	„ $= -2.6$	$= -0.000877$

§ XII. Elektrolytische Verzinnung.

Ferner wurde von mir noch versucht, statt der Lötstelle durch elektrolytisch niedergeschlagenes Zinn einen Kontakt herzustellen.

Wenn ich nun gehofft hatte, durch einen möglichst minimalen Niederschlag die Empfindlichkeit zu erhöhen, so war der Erfolg ein negativer. — Die Drähte waren an der betreffenden Stelle sorgfältig entfettet.

Nachstehend das Ergebnis:

Elektrolytische Verzinnung.

Metalle: Mang — Co	$C_v = 10^{-6}\times$	$(w_\vartheta \pm p)$	Bemerkungen
d = 0.0208 mm	195.8	0.250	$(w_\vartheta \pm p)$
„	183.3	0.504	bei $i = 1661 \times 10^{-6}$
„	181.8	0.316	
d = 0.015 mm	135.1	0.4023	
„	94.0	0.4013	
„	126.6	0.5184	
„	96.0	0.4042	
„	94.9	0.3631	

Zunächst ist zu bemerken, dass wir bei den elektrolytischen Prozess durchschnittlich nicht die Empfindlichkeit erzielen wie durch Lötung. Technisch sind diese elektrolytisch hergestellten Verzinnungen aber absolut nicht brauchbar, da die Kontraktstellen nicht haltbar sind, sondern bei den geringsten Erschütterungen auseinander gehen. Der Niederschlag ist eben nicht homogen genug.

Beachtenswert ist, dass die Grösse $(w_\vartheta \pm p)$ bei elektrolytisch niedergeschlagenen Zinn erheblich grösser ist als bei der Lötung. Während wir hier mittels elektrol. Verzinnung bei den Thermonidikatoren von der Drahtstärke 0.15 mm und einer Stromintensität von $i = 1661 \times 10^{-6}$ Amp. durchschnittlich $(w_\vartheta \pm p)$ gleich 0.4 haben, hatten wir bei derselben Drahtstärke und gewöhnlichen Lötung $(w_\vartheta \pm p) = 0.15$.

§ XIII. Vergleichung der von mir erreichten Empfindlichkeit der untersuchten Thermoelemente mit der von Brandes[1]) angegebenen.

Brandes gibt seine Konstante gleich 2.1×10^{-8} an, wobei er statt eines Spiegelgalvanometers ein Zeigergalvanometer ($G = 285 \times 10^{-7}$ pro 1^0) benutzt. Ein Instrument von fast gleicher Empfindlichkeit stand mir zur Verfügung, so dass ich ohne weiteres eine Vergleichung mit den von mir gewonnenen Resultaten anstellen konnte. Ich benutzte einen Thermoindikator Mang-Co (d = 0.015 mm), dessen Empfindlichkeitsfaktor bei meiner Anordnung 94.1 war. Die Beobachtung ergab.

Zeigergalv. I		Zeigergalv. II		Stromrichtung
Ablesung	Strom in Mikroamp.	Ablesung	Ausschlag α	
15.0	1245	+ 12.7	+ 7.75	I
„	„	+ 2.8		II
20.0	1661	+ 20.05	+ 13.53	I
„	„	+ 7.0		II
25.0	2076	+ 31.3	+ 22.15	I
„	„	+ 13.6		II
30.0	2491	+ 41.4	+ 30.7	I
„	„	+ 20.0		II
35.0	2906	+ 54.2	+ 41.4	I
„	„	+ 28.6		II
40.0	3322	+ 68.9	+ 53.65	I
„	„	+ 38.4		II

Zeigergalv. I — hineingeschickter Strom
Zeigergalv. II — herausgeholter Strom.

Berechnung:

α	$i = 10^{-6}\times$	$C = \frac{i}{\sqrt{\alpha}} \times 10^{-6}$	
+ 7.75	1245	447.1	
+13.53	1661	451.2	
+22.15	2076	441.2	Mittel
+30.7	2491	449.5	$C = 451.3 \times 10^{-6}$
+41.4	2906	452.7	
+53.65	3322	453.5	

1) Brandes, Physik. Z. 6. Jahrg. 1905 S. 50; Ann. d. Phys. 419. 209—213.

Berechnung Brandes:

$i = 10^{-4} \times$	α	$i = \frac{i}{\sqrt{\alpha}}$	
65	9.5	0.0021	Mittel $C = 2.1 \times 10^{-3}$
72	12.2	20_6	
98	20.5	21_6	
111	40.9	21_0	
137	40.9	21_4	
159	54.5	21_5	
170	64.7	21_1	

$C_{Brandes} = 2.1 \times 10^{-3}$
$C_{Knopp} = 0.45 \times 10^{-3}$

$\frac{C_B}{C_K} = 4.683.$

Das von mir benutzte Element ist also 4.683 mal empfindlicher als das von Brandes angegebene. Nun ist dies Thermoelement nicht mein empfindlichstes. Aus der Tabelle S. 26 ergibt sich die beste Konstante zu 86.2, d. h. mein empfindlichstes Thermoelement ist 5.11 mal empfindlicher als das Brandes'sche Element.

Das bedeutet praktisch einen ausserordentlichen Fortschritt und wir werden in nächsten Paragraphen sehen, dass wir nicht mehr weit von der Empfindlichkeit der Barretter entfernt sind.

§ XIV. Vergleichung eines Thermoindikators mit einem Barretter.

In dem hiesigen physik. Institut werden auf Veranlassung des Herrn Prof. Schmidt Untersuchungen über Barretter angestellt, und ich war in der Lage, den von mir eben schon benutzten Thermoindikator ($C = 94.1$) mit dem Normalbarretter vergleichen zu können, wobei eine schwach gedämpfte Schwingung als Energiequelle benutzt wurde.

Die Schaltung war nebenstehende:

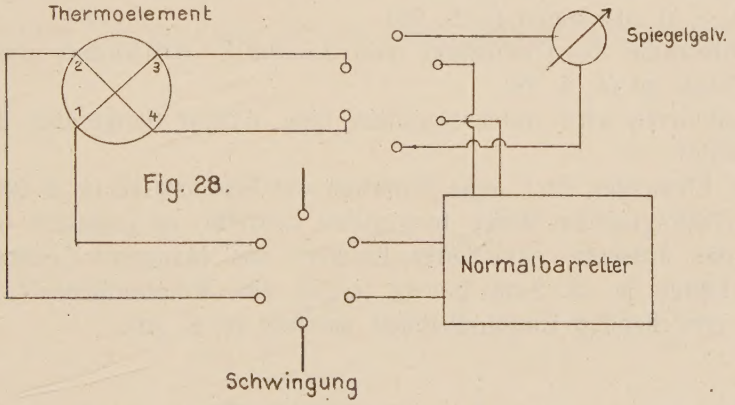


Fig. 28.

Der Normalbarretter ergab bei dieser Schaltung einen Ausschlag von 80 Skalenteilen
Der Thermoindikator „ „ „ „ „ „ „ 9,7 „

d. h., der Thermoindikator ist nur noch **8.3** mal unempfindlicher als der Normalbarretter.

Bedenkt man nun, wie unbequem es ist, infolge der Schwankungen bei nur geringer Temperaturänderungen, mit dem Baretter zu arbeiten, so wird man für viele Zwecke sicherlich das nur 8.3 mal unempfindlichere Thermoelement vorziehen. Infolge der Trägheit seiner Einstellungen ist jedoch das Thermoelement dem Barretter, bei dem eine sofortige Einstellung erfolgt, unterlegen. Der Vorteil aber besteht wieder in der Möglichkeit, mittels Thermoelement absolute Messungen ausführen zu können; ebenfalls fallen die recht komplizierten Schaltungen des Baretters fort.

§ XV. Endgültige Form unserer Thermoelemente.

In Fig. 29 ist die endgültige Form unserer Vakuumthermoelemente angegeben.

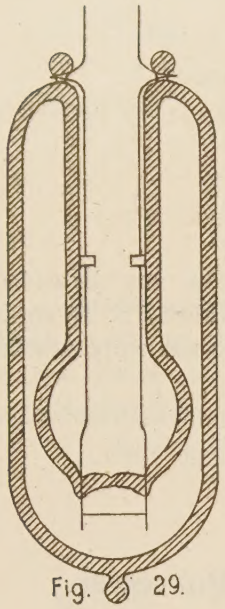


Fig. 29.

Nachdem der innere Glaskörper fertiggestellt ist, kann das Thermokreuz in bequemster Weise an die Platinstützen angelötet werden. Alsdann wird der vorher schon abgepasste äussere Glaskörper darüber gefügt und oben mit der inneren Glashülle verschmolzen. Durch diese Anordnung wird nach Möglichkeit verhindert, dass beim Verschmelzen der beiden Glaskörper Wärme an das Thermokreuz gelangt. Die Zuleitungsdrähte bestehen aus Kupfer und sind mittels einer Silberhartlötung mit den Platindrähten verbunden. Damit diese Zuleitungsdrähte im Innern keinen Kontakt bilden können, sind sie mittels Porzellanösen an der Glaswand befestigt. Während früher das Thermoelement dann in Öl eingebettet wurde, um die Temperaturschwankungen auf ein Minimum herabzudrücken, begnügen wir uns jetzt damit, es in Watte einzuschliessen, denn, wie in § VI festgestellt ist, ist der durch geringe Schwankungen der Temperatur entstehende Fehler praktisch zu vernachlässigen.

§ XVI. Kurze Zusammenstellung.

Die mitgeteilten Untersuchungen ergaben folgende Resultate:

Mit wachsendem ($w_\vartheta \pm p$) ist eine Steigerung der Empfindlichkeit von Thermoelementen verbunden (s. S. 16).

Bei den Cu-Ni-Legierungen haben wir bei 50% Ni-Gehalt das Maximum von e_ϑ (s. S. 19).

Bei den Fe-Ni-Legierungen erhielten wir eine komplizierte Funktion zwischen der prozentualen Zusammensetzung und e_ϑ. Das Maximum der Empfindlichkeit fällt bei den Legierungen mit dem Maximum von ($w_\vartheta \pm p$) zusammen (s. S. 22).

Mit der Abnahme der Drahtstärke von $d = 0.018—0.0154$ mm nimmt die Empfindlichkeit der Thermoelemente linear zu (s. S. 26).

Durch Evakuieren wird durchschnittlich eine 6 fache Steigerung der Empfindlichkeit erreicht (s. S. 27, 15. Tabelle).

Bei vielen Elementen ist C eine Funktion der Stromstärke (s. S. 28 ff.).

Ein auf elektolytischem Wege hergestellte Lötstelle ist praktisch nicht verwendbar (s. S. 32).

Ein auf das äusserste evakuiertes Element aus Manganin-Constantan-Drähten, deren Dicke 0.015 mm, deren Länge je ca. 2 cm betrug, ergab eine Empfindlichkeit, die wohl die Grenze der augenblicklich zu erreichenden Empfindlichkeit darstellt (s. S. 32).

Zum Schlusse erlaube ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. K. E. F. Schmidt, dem ich die Anregung zu dieser Arbeit verdanke, für seine freundlichen Ratschläge und liebenswürdige Unterstützung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 15. Juli 1883 wurde ich, Ernst Heinrich Otto Knopp, in Goslar a. H. als Sohn des am 12. November 1908 verstorbenen Rentners Wilhelm Knopp und dessen Ehefrau Henriette geb. Immenroth, ev. Konfession, geboren. Nach Absolvierung des Realgymnasiums meiner Heimatstadt bezog ich Ostern 1904 die Universität Marburg, um mich dem Studium der Mathematik und Physik zu widmen. Ferner besuchte ich die Universitäten Göttingen und Halle.

Am 30. Juni 1909 bestand ich das Examen rigorosum.

Während meiner Studienzeit habe ich bei folgenden Herren Professoren und Dozenten an Vorlesungen und Seminarien teilgenommen.

In Marburg:

Richarz, Blumenthal.

In Göttingen:

Minkowski, Riecke, Friederichsen, Biltz, Simon, Blumenthal, Schwarzschild, Wiechert, Liebisch, Baumann, Wagner.

In Halle:

Dorn, Wangerin, Gutzmer, Walter, Cantor, Schwartz, Ebbinghaus, Schenck, Schmidt, Fries.

Allen meinen verehrten Lehrern drücke ich an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aus.